

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Petri Aimasmäki

SIEMENTILAN VILJANKUIVAUKSEN
ENERGIANTUOTANTOJÄRJESTELMIEN
KANNATTAVUUSVERTAILU

Opinnäytetyö
Toukokuu 2020

Tekijä
 Petri Aimasmäki

Nimeke
 Siementilan viljankuivauksen energiantuotantojärjestelmien kannattavuusvertailu

Toimeksiantaja
 Pohjois-Karjalan Siemen Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuoda esiin Pohjois-Karjalan Siemen Oy:lle keskeiset tiedot vaihtoehtoisista kuivuriuuneista ja polttoaineista, joilla voitaisiin korvata kevyen polttoöljyn käyttö viljankuivurin uusimisen yhteydessä. Laitteistokokonaisuuksista tehtiin kannattavuuslaskentaa, jolla pyrittiin helpottamaan toimeksiantajan investointien vertailua. Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko biopolttoaineita tai nestekaasua käyttävien kuivuriuunien investointikustannuksilla päästä yrityksen asettamaan 10 vuoden takaisinmaksuajan ja 6 %:n korkoon. Investointien ympäristövaikutuksia tarkasteltiin myös hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta.

Keskeiset tiedot laitteistoista ja niiden vaatimista luvista kerättiin kirjallisuudesta, sähköisistä lähteistä, laitteistotoimittajilta ja valvovilta viranomaisilta. Kannattavuuslaskelmat ja tarkasteltavat laitekokonaisuudet koottiin yrityksen nykyisten kuivausmäärien ja laitteistovaatimusten asettaman 800 kW:n tehontarpeen pohjalta. Laitteistokokonaisuuksista kerätyn listahinnittelun, jotka olivat ennen mahdollisia tukia 47 000–140 000 €, pohjalta suoritettiin kannattavuuslaskennat Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Investointien kannattavuutta tarkasteltiin takaisinmaksuajan, nykyarvomenetelmän, sisäisen korkokannan ja herkkyyssanalyysien näkökulmasta.

Biopolttoaineiden käyttö on kannattavaa, mikäli investoinnille on mahdollista saada tukea ja käytössä on toiminnasta syntyviä sivuvirtoja, joita voidaan käyttää polttoaineina, kuten myyntikelvotonta viljaa tai lajittelutähteitä. Laskennassa mukana olleet muut biopolttoaineet, etenkin paineistettu biokaasu, osoittautuivat täysin kannattamattomaksi yrityksen käyttöön.

| | | |
|----------------|----------------|----|
| Kieli suomi | Sivuja | 58 |
| | Liitteet | 1 |
| | Liitesivumäärä | 1 |

Asiasanat
 viljankuivaus, hiilidioksidi, lämmöntuotanto, biokaasu, biopolttoaineet, kannattavuuslaskelma



THESIS
May 2020
Degree Programme in Energy and
Environmental Engineering
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Petri Aimasmäki

Title
Assessing the profitability of different energy production systems for grain drying

Commissioned by
Pohjois-Karjalan Siemen Oy

Abstract

The purpose of the thesis was to assess the feasibility of alternative grain drying systems as well as alternative fuels with which to replace the use of light fuel oil that is being used in the current grain drying kilns. Aim of the thesis was specifically to examine whether the alternative grain drying systems using biofuels and/or Liquefied Petroleum Gas (LPG) would be feasible for the company (Pohjois-Karjalan Siemen Oy) when using a payback period of ten years and an interest rate of 6 %. The profitability of the different grain drying systems was therefore estimated as well. The environmental impact assessment of the different systems was limited to carbon dioxide emissions only.

The core information of the drying systems and the permissions their construction would require were collected from available literature, manufacturers and the related authorities. When estimating the productivity of the different systems, the baseline figures were formed from the company's current volumes of dried grain, the 800 kW power required by the drying systems and the listed prices of the drying systems (47 000 – 140 000 € prior to potential subsidies). The profitability of the investment itself was analyzed in relation to the payback period, net present value (NPV), varying interest rates and sensitivity analysis.

The use of biofuels proved to be profitable provided that potential subsidies are available, and that sources of fuel include natural available by-products such as unmarketable grains and assortment residues. The other tested biofuel options, and especially the Compressed BioGas (CBG), were unprofitable for the target company under all circumstances.

Language
Finnish

| | |
|---------------------|----|
| Pages | 58 |
| Appendices | 1 |
| Pages of Appendices | 1 |

Keywords
grain drying, carbon dioxide, production of heat, biogas, biofuels, estimate of productiveness

Sisältö

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 7 |
| 2 | Viljankuivauksen teknologiat | 10 |
| 2.1 | Viljankuivauksen perusteita | 10 |
| 2.2 | Lämmينilma kuivaus | 16 |
| 2.2.1 | Polttoaineet ja polttoainejärjestelmät | 17 |
| 2.2.2 | Kuivuriunit | 22 |
| 2.3 | Kuivauksen kannattavuus | 27 |
| 2.4 | Kuivauksen hiilidioksidipäästöt | 28 |
| 3 | Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet | 30 |
| 3.1 | Tutkimuksen taustat | 30 |
| 3.2 | Tutkimustehtävä | 31 |
| 4 | Menetelmälliset valinnat | 32 |
| 4.1 | Investointilaskenta | 32 |
| 4.2 | Kannattavuuslaskennan lähtötiedot | 35 |
| 4.3 | Energiantuotantojärjestelmän vaihtoehdot | 36 |
| 4.4 | Lupaprosessit ja velvoitteet | 40 |
| 5 | Tulokset | 42 |
| 5.1 | Kuivauksen kannattavuus | 42 |
| 5.2 | Herkkyysanalyysi | 45 |
| 5.3 | Kuivauksen hiilidioksidipäästöt | 49 |
| 6 | Pohdinta | 52 |
| 6.1 | Tulosten arviointi ja hyödynnettävyys | 52 |
| 6.2 | Tulosten luotettavuus | 54 |
| 6.3 | Jatkotutkimukset | 54 |
| | Lähteet | 56 |

Kuvat

- Kuva 1. Viljan ja lajittelutähteen hyödyntämistä kohdetilan keskuslämmityskattilassa (Kuva: Petri Aimasmäki).
- Kuva 2. Ilmakuva Pohjois-Karjalan Siemen Oy:n tilasta ja keskeisten rakennusten sijoittelu sekä mahdollinen uusi lämpökanaali (Kuva: Maanmittauslaitos 2020. Piirros: Petri Aimasmäki).
- Kuva 3. Viljan säilyvyys lämpötilan muuttuessa eri kosteusprosentteilla (Ahokas & Jokiniemi 2020, 3).
- Kuva 4. Esimerkki erilämpöisen ilman kyvystä sitoa vettä (Kilpeläinen 2020a).
- Kuva 5. Veden poistuminen yhden ilmakilon mukana (Diagrammi: Mollier Sketcher 2.1b ohjelma. Laskenta: Petri Aimasmäki).
- Kuva 6. Viisto-VeHa-Lavakuivuri, lavan pinta-ala 6 m² (Valtion maatalouskojeiden tutkimuslaitos 1964, 1).
- Kuva 7. Ajonkestävä lavakuivuri (Lötjönen 2005, 49).
- Kuva 8. Alipaineuunilla varustettu kennomallinen eräkuivuri (Kuva: Koskiniemi ym. 2009, 8. Tekstit: Petri Aimasmäki).
- Kuva 9. Ilman kulku lämminilma kuivurin kuivauskennoissa (Koskiniemi ym. 2009, 9).
- Kuva 10. Jyvän elinvoiman säilyvyys eri kosteus- ja lämpötilaoloissa (Ahokas & Jokiniemi 2020).

- Kuva 11. Tuhkan laavaantumisesta aiheutuvaa puhkipalamista vanhan viljapolttimen palopäässä kohdetilalla (Kuva: Petri Aimasmäki).
- Kuva 12. Etu-uuni ja sen sijoittuminen öljypolttimen tilalle (Arskametalli Oy 2020).
- Kuva 13. Kanavapolttimen havainnekuva (Mepu 2020).
- Kuva 14. Linjapolttimen sijoittuminen kuivuriin (Mepu 2020).
- Kuva 15. Alipaineuunin rakenne (Mepu 2017).
- Kuva 16. Ylipaineuunin rakenne (Arskametalli Oy 2020).
- Kuva 17. Liikkuva-arinaisen palopään havainnekuva (Biofire Oy 2020).
- Kuva 18. Konttimallinen ilmauuni, jossa biokattila (Koskiniemi ym. 2009, 13).
- Kuva 19. Kuumavesikattila (Viirimäki ym. 2008, 13).
- Kuva 20. Radiaattori kuivausilman ottoaukossa (Koskiniemi ym. 2009, 15).
- Kuva 21. Kevyttä polttoöljyä käyttävän järjestelmän pääkomponentit 1. öljysäiliö, 2. öljynsyöttö- ja paluuputket, 3. öljypoltin, 4. alipaineuuni, (Piiros: Petri Aimasmäki).
- Kuva 22. Nestekaasua käyttävän järjestelmän pääkomponentit 1. maapeitteinen nestekaasusäiliö, 2. kaasunsiirtoputki, 3. höyrystinkeskus, 4. kaasunsiirtoputki, 5. kanavamallinensuorakaasupoltin (Höyrystinkeskuksen kuva: Fingas Oy 2020. Piiros: Petri Aimasmäki).
- Kuva 23. Paineistettua biokaasua käyttävän järjestelmän pääkomponentit 1. paineistetun biokaasun siirtokontti, 2. liitosletku, 3. paineenpurkuliitoskontti, 4. kaasunsiirtoputki, 5. kaasupoltin, 6. alipaineuuni (Siirtokontin kuva: Suomilammi 2018. Merikontin kuva: HSA Oy 2020. Piiros: Petri Aimasmäki).
- Kuva 24. Biopolttoaineita käyttävän kuivuriuunilaitteiston pääkomponentit. 1. pohjapurkain, 2. välisäiliö, 3. palopää, 4. kuivuriuuni, 5. tuhkan ruuvikuljetin (Biofire Oy 2018, 6).
- Kuva 25. Pellettiä tai viljaa käyttävän kuivuriuunilaitteiston pääkomponentit. 1. polttoainesilo, 2. välisäiliö, 3. palopää, 4. kuivuriuuni, 5. tuhkan ruuvikuljetin, 6. Alipaineohjattu savukaasuimuri, 7. ruuvikuljetin (Kuva: Biofire Oy 2018, 20. 7-numeron lisäys: Petri Aimasmäki).

Kuviot

- Kuvio 1. 10 MWh tuottamiseen tarvittava polttoainetilavuuden tarve.
- Kuvio 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain (päästöt positiivisia ja poistumat negatiivisia lukuja) sekä kokonaispäästö vähennettynä nettonielulla (Tilastokeskus 2020a).
- Kuvio 3. Yhden kuivauserän kuivaukseen tarvittava polttoainetilavuus vertailtavilla laitteistoilla tuotettuina. Tarvittavaan määrään on huomioitu kattilan hyötysuhde.
- Kuvio 4. Vuosittaisen kuivausmäärän vaikutus korolliseen takaisinmaksuaikaan.
- Kuvio 5. Vuosittaisen kuivausmäärän vaikutus sisäiseen korkoon.
- Kuvio 6. Öljyn hinnan vaikutus korolliseen takaisinmaksuaikaan.
- Kuvio 7. Öljyn hinnan vaikutus sisäiseen korkoon.
- Kuvio 8. Kuivauksen alkukosteuden vaikutus korolliseen takaisinmaksuaikaan.
- Kuvio 9. Kuivauksen alkukosteuden vaikutus sisäiseen korkoon.

Taulukot

- Taulukko 1. Esimerkki kaurantuotannon kokonaisenergiankulutuksesta (Kilpeläinen 2020a).
- Taulukko 2. Biokaasun energiasisällöt eri jalostusasteilla (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 135).
- Taulukko 3. Polttoaineiden ominaisuuksia.
- Taulukko 4. Kuivaukseen käytettävien polttoaineiden päästökertoimet (Tilastokeskus 2020b).
- Taulukko 5. Kannattavuuslaskelmissa käytettävät lähtötiedot ja olettamet.
- Taulukko 6. Laitteistojen vuosikustannukset.
- Taulukko 7. Laitteistojen vuosisäästöt.
- Taulukko 8. Laitteistojen takaisinmaksuajat asetetuilla lähtötiedoilla.
- Taulukko 9. Laitteistojen tuottojen nykyarvon ja investoinnin nykyarvon erotus.
- Taulukko 10. Laitteistoinvestointien laskennallinen vuosituottoprosentti.
- Taulukko 11. Seospolttoaineen käyttö vaihtoehtoon 4 laitteistolla.
- Taulukko 12. Polttoaineiden päästökertoimet tuotettua energiaa kohden (Tilastokeskus 2020b).
- Taulukko 13. Polttoaineiden lyhyen ajan vaikutukset CO₂-päästöihin.
- Taulukko 14. Polttoaineiden pitkän ajan vaikutukset CO₂-päästöihin.

Liitteet

- Liite 1. Kiinteistöjen lämmitystehon määrittäminen.

Yksiköt

Hehtolitra = 0,10 m³

1 Johdanto

Ilmastonmuutos ja sen mukanaan tuomat sään ääri-ilmiöt koskettavat globaalisti, mutta vaikutukset näkyvät erityisesti maatilayrittämisen haasteiden lisääntymisellä, sillä toimeentulo on riippuvainen luonnosta. Tästä syystä monilla maatilayrittäjillä on lisääntynyt kiinnostus olla mukana hillitsemässä ilmastonmuutosta kiinnittämällä huomiota oman tuotannon hiilidioksidipäästöihin ja energiankäyttöön.

Yhtenä päästöjä aiheuttavana ja energiaa kuluttavana prosessina maatiloilla on taulukon 1 mukaan viljankuivaus. Viljankuivauksessa on käytetty pitkään erilaisia kuivurityyppejä, joista lämminilmakuivurit käyttävät kuivuriuuneissaan polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Öljyn käyttöä ja siihen liittyvää tekniikkaa on suosittu öljyn matalan hinnan ja tekniikan suhteellisen yksinkertaisen rakenteen takia.

Taulukko 1. Esimerkki kaurantuotannon kokonaisenergiankulutuksesta (Kilpeläinen 2020a).

| Panos | MJ/ha | kWh/ha | % |
|---------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Työkoneiden energiankulutus | 1 449 | 402 | 7 % |
| Kuivaus | 3 600 | 1 000 | 18 % |
| Lannoite N | 7 911 | 2 197 | 39 % |
| Lannoite P | 396 | 110 | 2 % |
| Lannoite K | 420 | 116 | 2 % |
| Siemen | 3 096 | 860 | 15 % |
| Glyfosaatti | 1 810 | 502 | 9 % |
| MCPA | 388 | 108 | 2 % |
| Lannoitteen kuljetus 250 km | 34 | 9 | 0 % |
| Sadon kuljetus | 97 | 26 | 0 % |
| Koneiden ja laiteiden valmistus | 1 040 | 288 | 5 % |
| YHTEENSÄ | 20 242 | 5 622 | 100 % |

Öljyn käyttö on saanut viime vuosina rinnalleen potentiaalisia kilpailijoita, kun kuivauksessa on alettu käyttää korvaavia polttoaineita, kuten haketta, pellettiä, palaturvetta ja muita bioperäisiä polttoaineita. Yhtenä vaihtoehtona on käyttää myös fossiilisista polttoaineista öljyyn verrattuna vähäpäästöisempää nestekaasua.

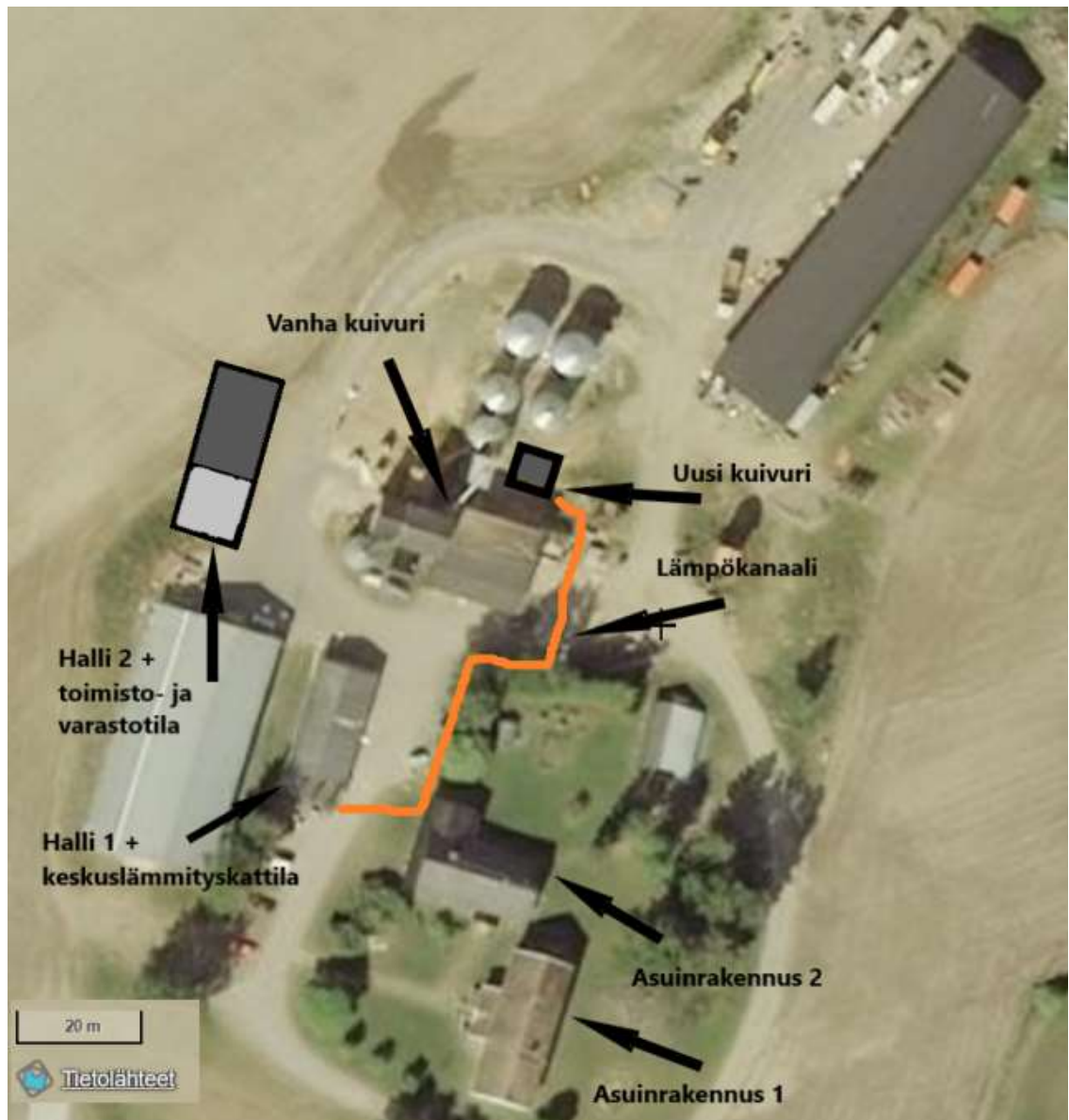
Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Liperissä toimivalle Pohjois-Karjalan Siemen Oy:lle vanhan kevyellä polttoöljyllä toimivan viljankuivaimen uusimisen yhteydessä mahdollisia korvaavia kuivuriuunityyppisiä ja polttoainevaihtoehtoja sekä laskea niiden kannattavuutta yritykselle. Työssä nostetaan esiin myös erilaisten ratkaisuiden mukanaan tuovaa keskeistä luvanvaraisuutta ja lainsäädännöllisiä näkökohtia.

Pohjois-Karjalan Siemen Oy on Liperin Kaatamossa sijaitseva maatilapakkamoiden omistamaan vuonna 1992 perustettuun Tilasiemen siemenliikkeeseen kuuluva siementila. Tilalla on pitkät perinteet, sillä viljely- ja sadonkäsittelyä on tehty vuodesta 1850 ja perinnettä ovat jatkaneet edellisen sukupolvenvaihdoksen jälkeen nykyinen isäntäpariskunta keväästä 2012 alkaen. Pohjois-Karjalan Siemen Oy:n tuotevalikoimaan kuuluvat vilja-, nurmi- ja palkokasvien siemenet, rypsin siemenet sekä nurmisiemenseokset. Viljeltävää peltoalaa yrityksellä on n. 900 ha, josta n. 50 % on luomutuotannossa. Vuotuinen tilalla kuivattavan siemenen määrä on noin 1 000 t/a. Nykyisenä viljankuivurina toimii 830 kW:n kevyen polttoöljyn polttimella varustettu 380 hehtolitrin ylipaine kuivuri. (Pohjois-Karjalan Siemen Oy 2013.)

Yrityksen pihapiirissä sijaitsevat asuinkiinteistöt ja osa halleista ovat lämmenneet jo noin 15 vuoden ajan viljalla ja lajittelussa syntyvällä lajittelutähteellä, joten Pohjois-Karjalan Siemen Oy:n puolelta ollaan avoimia innovatiivisimmillekin ratkaisuille.



Kuva 1. Viljan ja lajittelutähteen hyödyntämistä kohdetilan keskuslämmityskattilassa (Kuva: Petri Aimasmäki).



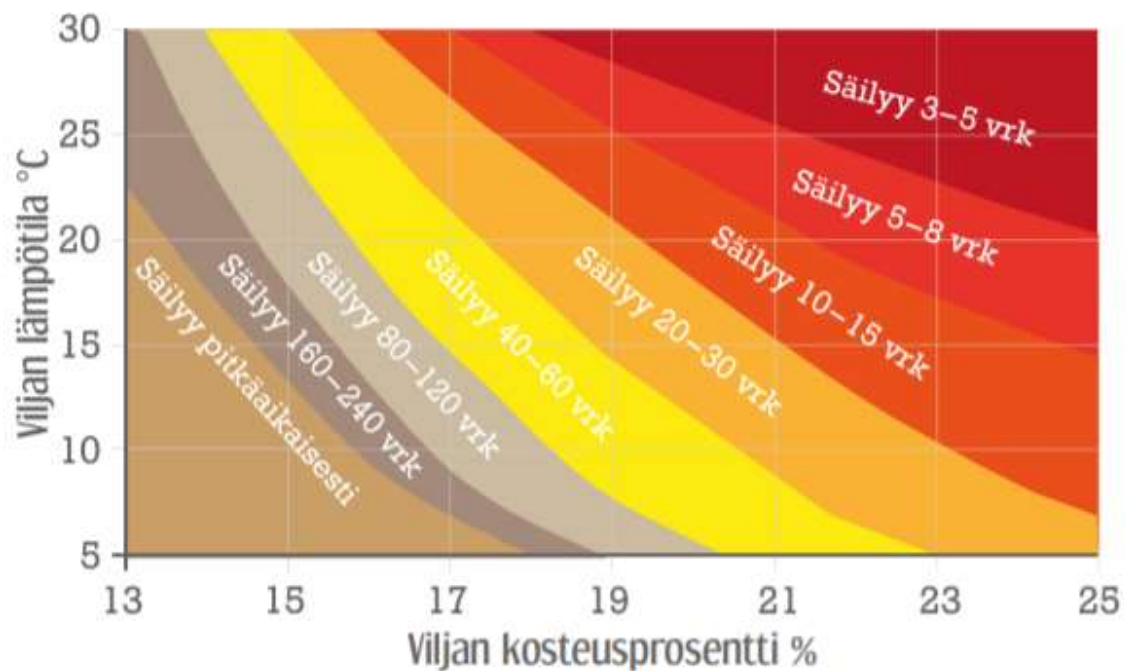
Kuva 2. Ilmakuva Pohjois-Karjalan Siemen Oy:n tilasta ja keskeisten rakennusten sijoittelu sekä mahdollinen uusi lämpökanaali (Kuva: Maanmittauslaitos 2020. Piirros: Petri Aimasmäki).

2 Viljankuivauksen teknologiat

2.1 Viljankuivauksen perusteita

Kesällä ja syksyllä korjatun sadon on säilyttävä talven yli. Sadon kosteus on niin suuri, että se pilaantuu, jos sitä ei käsitellä. Käsittelyn tarkoituksena on estää mikrobitoiminta, joka aiheuttaisi sadon pilaantumisen.

Suomessa käytetyin säilöntätapa on ilmakeivaus, sillä säilöntätapa ei rajoita viljan myöhempää käyttöä (Koskiniemi ym. 2009, 7). Viljakauppa perustuu lähes aina kuivan viljan myyntiin. Viljan pitkäaikainen säilytys vaatii alle 14 %:n kosteuden. Kuvasta 3 havaitaan, että viljan säilyvyyteen vaikuttaa kosteuden lisäksi myös lämpötila. (Ahokas & Jokiniemi 2020, 3.)



Kuva 3. Viljan säilyvyys lämpötilan muuttuessa eri kosteusprosentteilla (Ahokas & Jokiniemi 2020, 3).

Viljankuivaus on fysikaalinen tapahtuma, jossa vettä pyritään irrottamaan ja siirtämään pois jyvän pinnalta ja sisältä. Vesi on sitoutuneena jyvään karkeasti kolmella tavalla:

- Kemiallisesti sitoutunut vesi eli kidevesi, jota ei poisteta, koska sen poistaminen vaatii jopa 2–3-kertaisen energiamäärän haihdutukseen verrattuna.
- Fysikaalis-kemiallisesti sitoutunut vesi eli kolloidinen paisuntavesi, joka on sitoutuneena jyvämateriaaliin osmoottisesti. Kyseisen veden haihduttaminen ja irrottaminen vaatii energiaa n. 4,3 MJ/kg_{vettä}.
- Fysikaalis-mekaanisesti sitoutunut vesi, joka on vesimolekyyleinä jyvän pinnalla tai suurissa kapillaareissa. Kyseinen vesi poistetaan kokonaan kuivausprosessissa haihduttamalla, johon kuluu energiaa 0–800 kJ/kg_{vesi}.
(Koskiniemi ym. 2009, 7.)

Ilmakuivausprosessi suoritetaan kuivurissa, jossa ilma imetään tai puhalletaan kuivattavan massan lävitse. Kuivauksessa voidaan käyttää kylmä- tai lämminilma-kuivuria, jonka toiminta perustuu ilman luontaiseen kuivauskykyyn (Kilpeläinen 2020a).

Esim:

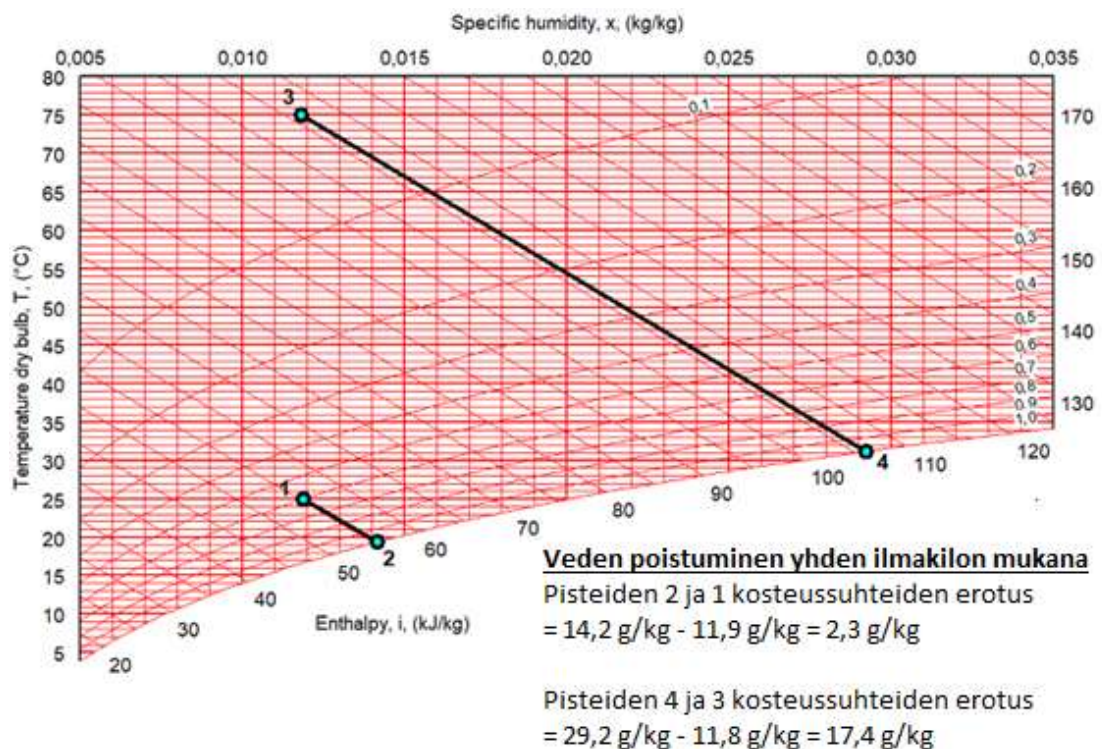
- +20° c RH 50% ilma voi sitoa vettä noin 2,8 g/m³
- +15° c RH 50% ilma voi sitoa vettä noin 2,5 g/m³
- +10° c RH 50% ilma voi sitoa vettä noin 2,3 g/m³
- Kosteuden nousu RH 70%:iin puolittaa kuivauskyvyn

Kuva 4. Esimerkki erilämpöisen ilman kyvystä sitoa vettä (Kilpeläinen 2020a).

Koska kuivuminen perustuu kuivaavan ilman kykyyn sitoa kosteutta, tämän takia kylmäilmakuivauksessa kuivuminen on normaalisti hitaampaa ja ilman suhteellisen kosteuden ollessa korkea ei välttämättä päästä viljan pitkäaikaisen säilyvyyden ja myyntiviljan ylimmän sallitun 14 %:n tasolle. Kuivausilman lämmittäminen tehostaa ilman vedensitomiskykyä ja tehostaa kuivausprosessia.

Kuvan 5 Mollier-diagrammilla voidaan ilmaista lämpötilan ja ilmankosteuden välistä suhdetta. Diagrammin vaaka-akselilla ilman absoluuttinen kosteus on ilmaistu $\text{kg/kg}_{\text{kuivausilma}}$ ja pystyakselina ilman lämpötila. Parametreina toimivat ilman suhteellinen kosteus ja ilman entalpia eli energiasisältö $\text{kJ/kg}_{\text{kuivausilma}}$. (Rantapirkola 2020.)

Kuvassa 5 näkyvien esimerkkilaskelmien pohjalta voidaan havaita kuivausilman veden sitomiskyvyn parantuminen tilanteessa, jossa $25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n RH 60 %:n kuivausilma lämmitetään $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan. Esimerkkilaskelmassa ilman vedensitomiskyky paranee teoriassa $15,1\text{ g/kg}_{\text{kuivausilma}}$ eli noin 7-kertaiseksi.

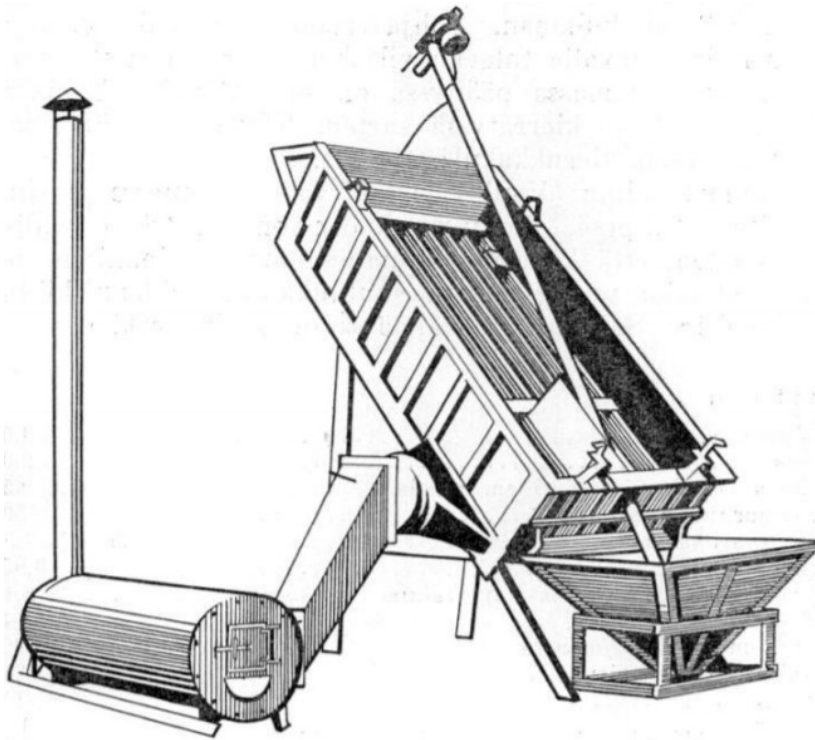


Kuva 5. Veden poistuminen yhden ilmakilon mukana (Diagrammi: Mollier Sketcher 2.1b ohjelma. Laskenta: Petri Aimasmäki).

Kuivurit voidaan jakaa kuivausilmanlämpötilan lisäksi jatkuvatoimisiin kuivureihin, eräkuivureihin ja kuivaaviin viljasiiloihin. Kuivureita on saatavilla siirrettävinä vau-nukuivureina ja kiinteinä malleina. Tämän tutkimuksen tietoperustassa keskity-tään kiinteisiin kuivureihin johtuen niiden suuremmasta kuivauskapasiteetista.

Kiinteistä kuivureista esimerkkeinä ovat taso- eli lavakuivuri, sivusolakuivuri, kenonokuivuri ja kuivaava viljasilo. Kuvan 6 tyyppinen lavakuivuri koostuu tyhjennyksen helpottamiseksi viistoon asennetusta lavasta, jonka pohjassa on ilmakanavia, joiden kautta kuivausilma puhalletaan viljamassan lävitse.

Lavakuivuri voi koostua myös kuvan 7 tyyppisestä kuivurirakennuksesta, jossa on reikä tai suomulevyistä koostuva lattia, jonka päälle ajetaan traktorin etukuormaajalla 0,5–1 m:n viljakerros. Kuivuria voidaan käyttää kylmäilmakuivurina tai kuivumista voidaan tehostaa lämmittämällä kuivausilmaa. Lavakuivuri kuivuri vaatii kuivauskapasiteettiin nähden suhteellisen suuren tilan sekä konetyötä, mikäli täyttö ja tyhjennys suoritetaan traktorilla. (Lötjönen 2005a, 48–49.)



Kuva 6. Viisto-VeHa-Lavakuivuri, lavan pinta-ala 6m² (Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos 1964, 1).

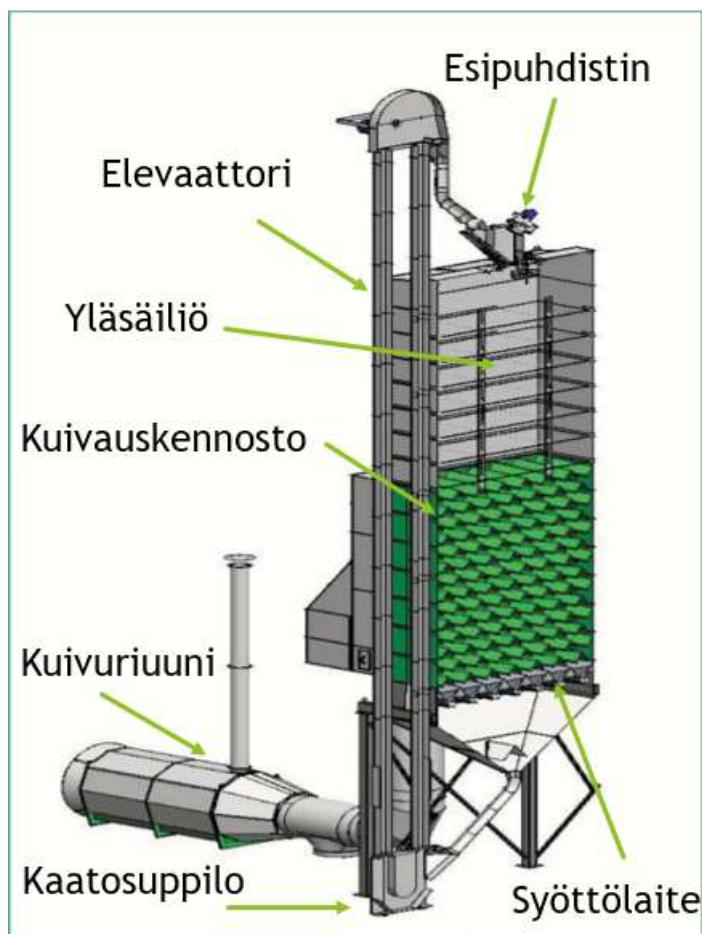


Kuva 7. Ajonkestävä lavakuivuri (Lötjönen 2005a, 49).

Kuivaavassa viljasiilossa kuivattava viljamassa syötetään elevaattorilla esipuhdistimen kautta siiloon, jossa viljakerroksia sekoitetaan koko kuivausprosessin ajan vaakatasossa siiloa kiertävän puomin varassa pyörivien pystyruuvien avulla. Kuivausilma puhalletaan tehokkaan keskipakopuhaltimen avulla siilon ritilälattian kautta viljamassan läpi. Kuivaus suoritetaan yleensä kylmäilmakuivauksena, mutta tarvittaessa kuivausilmaa voidaan lämmittää radiaattorilla tai öljypuhaltimella, joka voi lyhentää kuivausaikaa usealla päivällä. Kuivaavat viljasiilot soveltuvat huonosti siementuotantoon, koska lajikkeita on paljon ja tuotteen tasalaatuisuus on varmistettava.

Suomessa käytetyimmät kuivurityypit ovat viljaa kierrättävät siilomalliset eräkuivurit, joista mainittakoon hieman harvinaisempi sivusolakuivuri ja yleisemmin käytetty kennokuivuri. Siilomaisissa eräkuivureissa kuivattava viljaerä syötetään kaatosuppilon kautta elevaattoriin, joka nostaa viljan siilon yläosassa olevan esipuhdistimen kautta säiliöosaan. Säiliöosasta vilja valuu kuivausosan läpi kuivaussiilon alaosassa olevaan syöttölaitteeseen, joka karistaa viljan pohjakartion kautta takaisin elevaattoriin, joka nostaa viljan takaisin ylös. Kierro jatkuu niin kauan, kunnes automaatio havaitsee pääsyn tavoitekosteuteen, minkä jälkeen alkaa jäähdytysvaihe. Tasaisen kuivumisen vuoksi viljan kiertonopeuden tulisi olla noin kierros tunnissa. (Koskiniemi ym. 2009, 8.)

Sivusolakuivurin toiminta on kuivausosaa lukuun ottamatta samankaltainen kuin yleisemmin käytetyssä kennokuivurissa, jonka periaate tulee ilmi luvussa 2.2 ja eräkuivurin pääkomponentit kuvasta 8. Sivusolakuivurissa kuivattava viljamassa kulkee alaspäin reikä- tai suomulevyjen muodostamissa solissa. Kuivausilma kulkee poikittain viljan virtaukseen nähden. Ilman virtaus voi tapahtua jatkuvasti samansuuntaisesti tai suuntaa voidaan vaihdella. (Lötjönen 2005b, 37–38.)

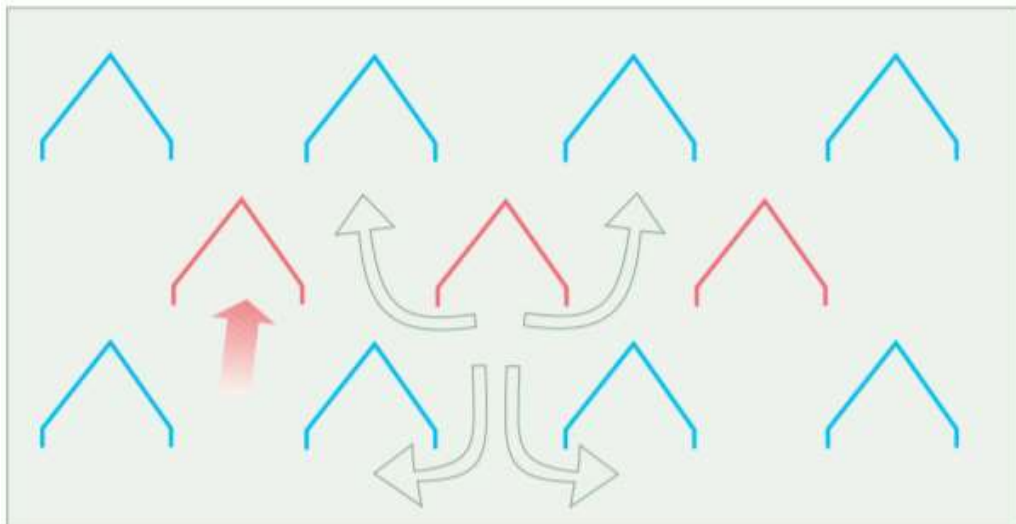


Kuva 8. Alipaineuunilla varustettu kennomallinen eräkuivuri (Kuva: Koskiniemi ym. 2009, 8. Tekstit: Petri Aimasmäki).

Jatkuvatoimisen kuivurin rakenne on melko pitkälti samanlainen kuin eräkuivurissa, mutta vilja kiertää vain kerran kuivurin kennojen lävitse. Kuivattu ja jäähdytetty vilja poistetaan kuivurin alapäästä toisella elevaattorilla varastosiihoon. Jatkuvatoiminen kuivuri soveltuu parhaiten käyttöön, jossa kuivattavan materiaaliin syöttövirta on tasaisen jatkuvaa, sekä lajikkeiden vaihtuvuus on vähäistä.

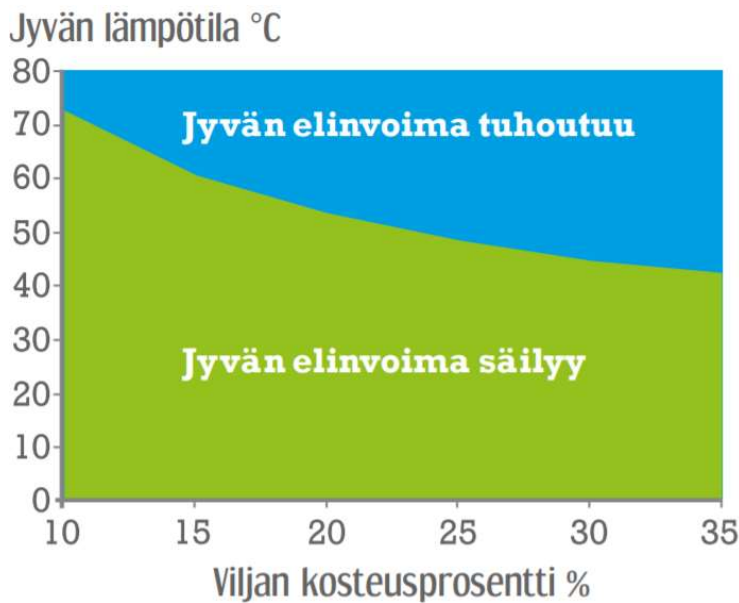
2.2 Lämminilmakuivaus

Kuivaukseen käytettävä lämminilma tuotetaan polttamalla kuivurin uunissa esimerkiksi öljyä tai kiinteitä polttoaineita. Palamisesta saatavalla energialla saadaan nostettua kuivausilman lämpötila halutulle tasolle, joka on normaalisti n. 60°C. Lämminilma johdetaan puhaltimen avulla kanavia pitkin lämminilmakoteloon, josta se jakaantuu kuivauskennon lämminilmaharjojen avulla viljan sekaan. Kuivaava lämminilma tunkeutuu harjojen välistä valuvan kuivattavan viljanmassan lävitse kuvan 9 mukaisesti ylä- ja alapuolella sijaitseviin kylmäilmaharjojen alle, josta ilma kulkee kylmäilmakoteloon ja poistoputken kautta pois kuivurista. (Koskiniemi 2009, 9.)



Kuva 9. Ilman kulku lämminilmakuivurin kuivauskennoissa (Koskiniemi ym. 2009, 9).

Kuivauksessa käytettävässä lämpötilassa ja lämpötilan säädössä on huomioitava kuivurin rakenne, viljan kiertonopeus ja viljan kosteus kuivauksen eri vaiheissa. Kuivureissa, joissa on vaarana, että osa viljasta altistuu pitkään kuumille kuivauspinoille ja kuumalle ilmalle, on käytettävä matalampia lämpötiloja, etteivät viljan itävyysominaisuudet kärsi. Kuvasta 10 on havaittavissa kuivattavien jyvien ytimen lämpötilan ja kosteusprosentin yhteys jyvien elinvoimaan. Jyvän ytimen lämpötilaan vaikuttaa kuivurin rakenne ja massan kiertonopeus.



Kuva 10. Jyvän elinvoiman säilyvyys eri kosteus- ja lämpötilaoloissa (Ahokas & Jokiniemi 2020).

2.2.1 Polttoaineet ja polttoainejärjestelmät

Kuivauksessa käytettävän ilman lämpöenergia voidaan tuottaa nykyään hyvin monenlaisilla polttoaineilla, kuten kevytpolttoöljyllä, bioöljyllä, nestekaasulla, maakaasulla, oljella, puulla, hakkeella, pelletillä, turpeella, biokaasulla, kauko- tai aluelämmöllä. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vain niihin polttoaineisiin, jotka olisivat todennäköisimpiä kyseiseen kohteeseen.

Kaura

- Viljan jyvien lämpöarvo on miltei puupolttoaineiden luokkaa ja viljan energiatiheys vastaa lähes pelletin arvoa. Ominaisuudet vaihtelevat jonkin verran riippuen lajikkeista ja laatutekijöistä. Kauran lämpöarvo on hieman parempi kuin muilla viljoilla (pois lukien öljykasvit kuten rypsi ja rapsi). Viljat sisältävät puupolttoaineisiin nähden huomattavasti enemmän klooria ja rikkiä, joka on huomioitava kattilan syöpymisriskin takia. Savukaasujen kloori- ja rikkipäästöjen takia kattilan mitoitus ja säätöihin tulee kiinnittää huomiota. (Kouki & Teräväinen 2005, 70.)

Esipuhdistus- ja lajittelutähdettä

- Viljanpuhdistuksen ja lajittelun yhteydessä syntyy lajittelutähdettä. Lajittelutähdettä syntyy myös markkinankelvottomasta viljasta, joka menee hylkyyn esimerkiksi liian alhaisen painon vuoksi. Lajittelutähde on lähtökohteisesti kuivaa ja se sisältää massaa kohden runsaasti energiaa. (Kouki & Teräväinen 2005, 67.)

Viljojen ja lajittelutähteen tuhkapitoisuus on moninkertainen puupolttoaineisiin verrattuna. Poltosta syntyvän tuhkan sulamislämpötila on suhteellisen alhainen, minkä seurauksena palopäässä voi esiintyä tuhkan sulamisesta syntyvää laavaantumista ja sen seurauksena kuvan 11 mukaisia vaurioita. Laavaantumisesta syntyviä haittoja saadaan ehkäistä käyttämällä palopäässä liikkuvaa arinaa ja tuhkatilan varustaminen tuhkanpoistoruuvilla helpottaa tuhkanpoistosta aiheutuvaa työtä. (Bioenergianeuvoja 2020.)



Kuva 11. Tuhkan laavaantumisesta aiheutuvaa puhkipalamista vanhan viljapolttimen palopäässä kohdetilalla (Kuva: Petri Aimesmäki).

Puupelletti

- Puupellettiä valmistetaan yleensä metsäteollisuuden sivutuotteista, kuten kuivasta sahanpurusta, kutterinlastusta ja hiontapölystä. Pelletit ovat sylinterinmuotoisia rakeita. Pellettien halkaisija on 6–12 mm ja pituus 10–40 mm. Havupuut soveltuvat lehtipuita paremmin pelletinvalmistukseen joutu- en niiden korkeammasta ligniinipitoisuudesta, joka toimii luonnollisena sideaineena pelletin puristuksessa. Puupelletin tuhkapitoisuus on pieni ja energiatiheys hyvä. (Alakangas ym. 2016, 95–96.)

Metsähake

- Metsähaketta valmistetaan hakkurilla kokopuusta, rangasta, metsätäh- teistä tai muista puuperäisistä aineksista. Hakkeen keskeisimmät laatute- kijät ovat kosteus, palakoko ja tasalaatuisuus. Hakkeen laatutekijät koros- tuvat merkittävästi siirryttäessä voimalaitoskokoluokasta pieniin lämpökeskuksiin sekä maatalous- ja kotilämpökattiloihin. Kattiloiden toi- mintavarmuuden edistämiseksi pienen kokoluokan kattiloissa käytetään yleensä kosteudeltaan alle 35 %:n kokopuu- tai rankahaketta. (Alakangas ym. 2016, 66–76.)

Nestekaasu (LPG)

- Nestekaasu on erittäin helposti syttyvä kaasu, jota saadaan maakaasun tai raakaöljynjalostuksen sivutuotteena. Nestekaasu kuljetetaan ja varas- toidaan nestemäisessä muodossa. Nestekaasu voi olla propaania, butaa- nia tai niiden sekoitusta. Suomessa nestekaasuna käytetään yleensä pro- paania, koska se höyrystyy butaania helpommin. (Työterveyslaitos 2015.) Oikealla ilman ja kaasun seoksella palaminen on hyvää ja puhdasta. Nes- tekaasun käytössä tehonsäätö on suhteellisen nopeaa ja tehonsää- töskaala on laaja.

Paineistettu biokaasu (CBG)

- Biokaasua muodostuu orgaanisesta-aineksesta anaerobisessa mädätys- prosessissa. Mädätysprosessissa syntyy metaania sisältävää biokaasua ja lannoitteeksi soveltuvaa mädätysjäännöstä. Raakabiokaasu on kaasu-

seos, joka sisältää tavallisesti 40–70 % metaania, noin 30–60 % hiilidioksidiä ja hyvin pieninä pitoisuuksina mm. rikkiyhdisteitä. (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2020.)

Raakabiokaasu puhdistetaan epäpuhtauksista ja energiantuotannon kannalta ylimääräisistä komponenteista laitteisto- ja päästöhaittojen vähentämiseksi. Puhdistusprosessi kohdistuu epäpuhtauksien lisäksi aina vähintään vesihöyryyn ja rikkivetyyn. Energiantuotannon kannalta hiilidioksidi ei ole haitallinen, mutta se poistetaan jalostamalla energiatuotannon kasvattamiseksi (Taulukko 2). Standardin SS-155438:199 mukaan jalostetun biokaasun metaanipitoisuus on 95–99 til.-% ja hiilidioksidipitoisuus on 1–5 til.%. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 128–134.)

Taulukko 2. Biokaasun energiasisällöt eri jalostusasteilla (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 135).

| | Raaka bio- kaasu | Puhdistettu biokaasu | Jalostettu biokaasu |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Energiasisällöt (MJ/Nm ³) | n. 20 | 20-30 | 34-36 |

Kaasu kuljetetaan paineistettuna 200–250 baarin paineessa erikokoisilla siirtokonteilla. Paineistettu biokaasu on yleensä jalostettua, mutta kuljetus on mahdollista hyvin puhdistetulle biokaasulle. Paineen kasvaessa rikkivety ja vesi voivat aiheuttaa korroosiota jo hyvin pieninä pitoisuuksina (Söderena ym. 2019, 25).

Kevyt polttoöljy

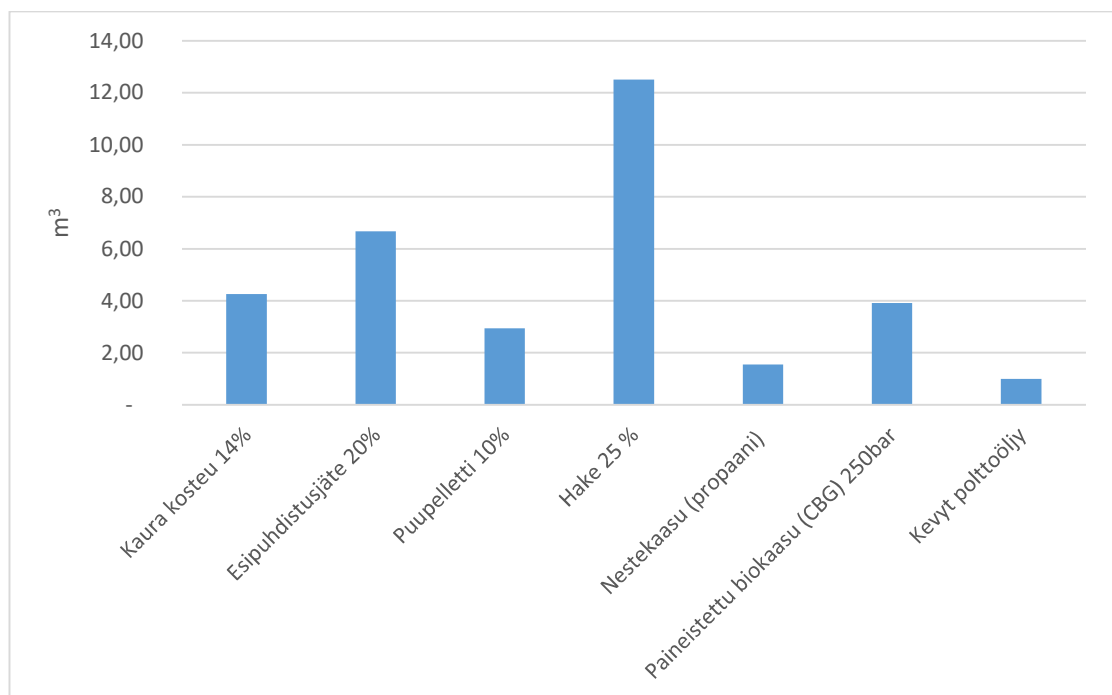
- Kevyt polttoöljy on yleisesti lämmöntuotannossa käytetty raakaöljystä jalostettu keskitislerajae. Jalostuksesta saadun tisleen ominaisuuksia muokataan ja siitä poistetaan haitallisia yhdisteitä erilaisilla jalostusprosesseilla sekä lisäaineilla. Kevyt polttoöljy on helposti juoksevaa ja se soveltuu käytettäväksi laitteissa, joiden teho on alle 1 000 kW. (Alakangas ym. 2016, 180.)

Kevyen polttoöljyn energiatiheys on korkea ja sen lämmityskäyttöön vaatima laitteisto on melko yksinkertainen. Yksinkertaisimmillaan lämmitysjärjestelmä koostuu öljysäiliöstä, mittaus- ja säätölaitteista sekä öljypolttimesta.

Työssä käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia ja keskimääräisiä hintoja nähdään taulukossa 3. Kuvioon 1 on havainnollistettu, kuinka paljon 10 MWh energian tuottamiseen vaaditaan teoriassa tilavuudeltaan eri polttoaineita.

Taulukko 3. Polttoaineiden ominaisuuksia.

| Polttoaine | Kosteus % | Energiaa kWh/i-m ³ | Energiaa kWh/kg | Tuhkapitoisuus ka. % | Hinta €/MWh, Alv 0 |
|-----------------------------|-----------|-------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|
| Kaura | 14 % | 2 350 | - | 6 % | 14 |
| Esipuhdistusjäte | 20 % | 1 500 | - | 6 % | 0 |
| Puupelletti | 10 % | 3 400 | - | 1 % | 34 |
| Hake | 25 % | 800 | - | 1 % | 21 |
| Kevyt polttoöljy | - | 10 000 | - | - | 60 |
| Nestekaasu (propani) | - | - | 13 | - | 78 |
| Paineistettu biokaasu (CBG) | - | - | 14 | - | 107 |



Kuvio 1. 10 MWh tuottamiseen tarvittava polttoainetilavuuden tarve.

2.2.2 Kuivuriuunit

Kuivauksessa käytettävä lämminilma voidaan tuottaa käyttämällä erilaisia kattilaja poltinvaihtoehtoja. Yksi käytetyimmistä kattiloista on ilmauuni, jossa palamisesta syntyvä lämpöenergia johdetaan lämmönvaihtopintojen välityksellä tai suoraan kuivuriin imettävään tai puhallettavaan kuivausilmaan. Normaalissa kiinteistölämmityskäytössä olevien kattiloiden käyttöikä on noin 20–25 vuotta ja polttimien noin 15–20 vuotta (Lämmitysenergia yhdistys 2020). Ilmauunien käyttöikä on edellä mainittua lyhyempi oletettavasti kattilan ja palopään rakenteisiin vaikuttavien toisenlaisten lämpörasitusten takia.

Öljykäyttöiseen uuniin voidaan asentaa kuvassa 12 punaisella ympyröidyn mallin mukaisesti öljypolttimen tilalle biouunilla varustettu etu-uuni, jolloin biouunista poistuvat savukaasut johdetaan öljyuunin kautta. Kuivausilma imetään etu-uuniin lämmönvaihtopintojen sekä savukaasujen lämmittämien öljyuunin lämmönvaihtopintojen kautta.



Kuva 12. Etu-uuni ja sen sijoittuminen öljypolttimen tilalle (Arskametalli Oy 2020).

Käytettäessä riittävän puhtaasti palavia polttoaineita, kuten neste- ja maakaasua, voidaan suorakaasupolttimella palamisilma johtaa suoraan kuivausilmaan, jolloin palamisesta saatava energia saadaan hyödynnettyä käytännössä kokonaan. Suorakaasupoltinvaihtoehtoina on kuvan 13 tyyppinen kanavapoltin, joka soveltuu käytettäväksi yli- ja alipaineuivureissa. Kanavapolttimien teholuokka on noin 200–5 000 kW. Suurissa alipaineuivureissa on mahdollista käyttää kuvassa 14

punaisella ympyröidyn tyypisesti linjapolttimia, joiden teholuokka on noin 800–16 000 kW. (Mepu 2020.)



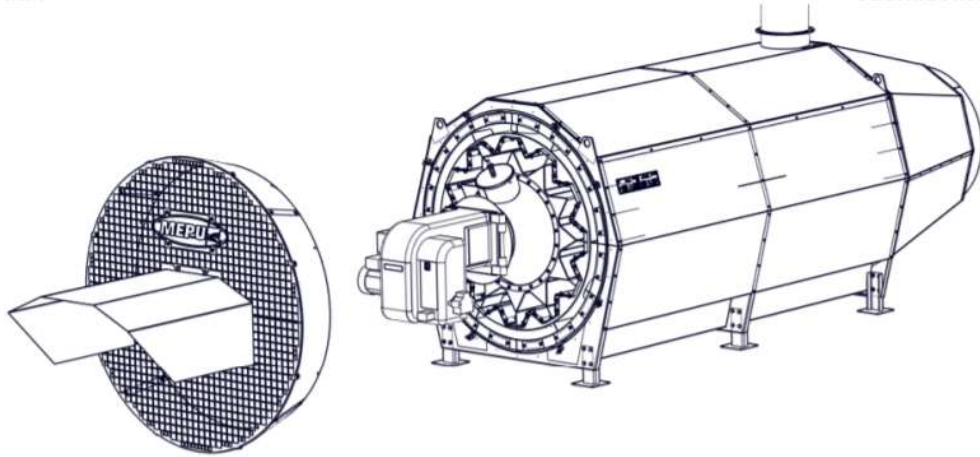
Kuva 13. Kanavapolttimen havainnekuva (Mepu 2020).



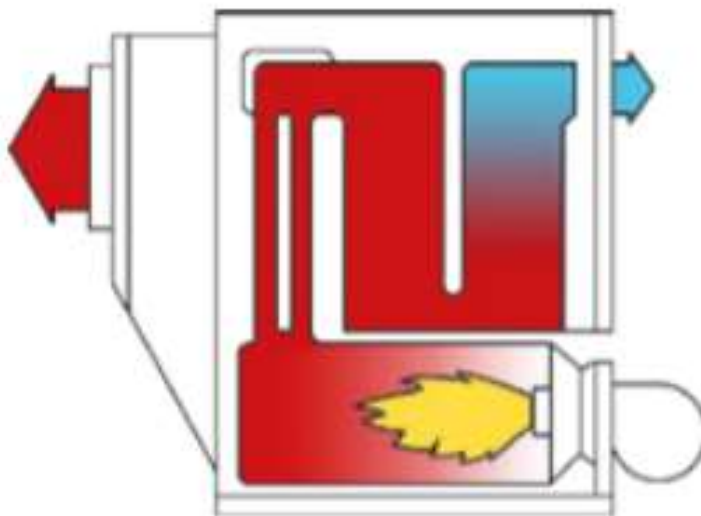
Kuva 14. Linjapolttimen sijoittuminen kuivuriin (Mepu 2020).

Kuivausenergiaa voidaan tuottaa myös käyttämällä kaasu- tai öljypolttimella toimivaa kuvan 15 tyyppistä alipaineuunia tai kuvan 16 tyyppistä ylipaineuunia. Alipaineuunissa polttoaine poltetaan kattilan keskelle sijoitetussa tulipesässä, jolloin

kuivausilma imetään tulipesän ympärillä olevien tai ylipaineuunissa tulipesän jälkeisten lämmönvaihtopintojen kautta. Palamisessa syntyvät savukaasut johdetaan pois savupiipun kautta. Alipaineuunien teholuokka on noin 300–2 000 kW ja ylipaineuuneissa 160–600 kW.



Kuva 15. Alipaineuunin rakenne (Mepu 2017).



Kuva 16. Ylipaineuunin rakenne (Arskametalli Oy 2020).

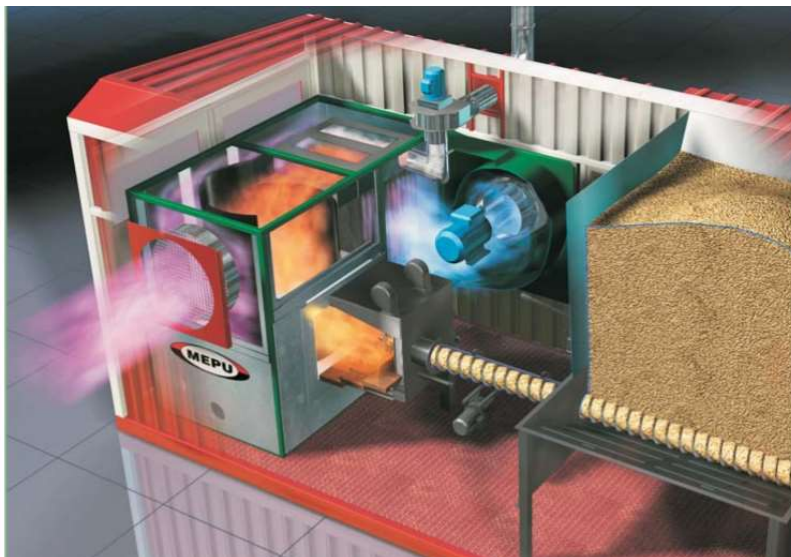
Käytettäessä kiinteitä polttoaineita, kuten haketta, pellettiä, viljaa tai lajittelutähdettä, kuvan 18 tyyppinen biokattila varustetaan polttoaineelle soveltuvalla palopäällä ja tarvittavalla polttoaineenkuljetin sekä polttoaineensyöttöjärjestelmällä. Biokattiloiden teholuokka on 500–1 200 kW. Pelletille ja riittävän kuivalle hakkeelle soveltuu kiinteällä arinalla varustettu palopää. Kiinteäarinaisten palopäiden teholuokka on noin 40–400 kW. Viljan ja lajittelutähteen polttoon voidaan käyttää kuvan 17 tyypistä liikkuva-arinaista palopäätä, jossa liikkuvat portaat tai tangot

työntävät poltettavaa materiaalia eteenpäin, jolloin palaminen on tasaisempaa ja laavaantumisen haitat vähenevät. Ilmauunin vaatiessa suurempia tehoja on myös hakkeen- ja pelletinpolttoon saatavilla ainoastaan liikkuva-arinaisia ratkaisuja. Liikkuva-arinaisten palopäiden teholuokka on noin 60–2 500 kW.



Kuva 17. Liikkuva-arinaisen palopään havainnekuva (Biofire Oy 2020).

Saatavilla on myös kuvan 18 tyyppisiä konttimallisia ratkaisuja, joissa kaikki tarvittavat laitteistot kuivausenergian tuottamiseen ovat sijoitettuna siirrettävään konttiin.



Kuva 18. Konttimallinen ilmauuni, jossa biokattila (Koskiniemi ym. 2009, 13).

Kuvan 19 tyyppisillä kuumavesikattiloilla palamisesta saatava lämpöenergia si-
dotaan ensin nesteeseen, joka siirretään putkistoa pitkin kuvan 20 tyyppiseen
radiaattoriin, jonka kautta lämpö luovutetaan kuivausilmaan. Kuumavesikatti-
loissa voidaan käyttää palopäässä vesijäähdytystä, jolloin kiinteäarinaisenkin pa-
lopään teho saadaan nostettua noin 1 500 kW:iin. Kuumavesikattiloiden teholuo-
kan laajuus on kymmenistä kilowateista kymmeniin megawatteihin.

Suurien kuumavesikattiloiden hankinnassa tulee huomioida painelaiteturvalli-
suus ja sen mukana tulevat pätevyyskirjavaatimukset. Esimerkkinä kuumavesi-
kattila, jossa käytetään kiinteitä polttoaineita ja teho > 1 MW tulee rekisteröidä
painelaitteeksi ja laitteistolle tulee nimetä pätevyysvaatimukset täyttävä kattilalai-
toksen käytönvalvoja. (Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta
1549/2016.)



Kuva 19. Kuumavesikattila (Viirimäki ym. 2008, 13).



Kuva 20. Radiaattori kuivausilman ottoaukossa (Koskiniemi ym. 2009, 15).

2.3 Kuivauksen kannattavuus

Kuivauksessa käytettävien polttoaineiden valikoima on nykyään melko laaja ja kattilatekniikoiden sekä logististen ratkaisuiden kehittyessä mahdollisuudet laajenevat mahdollisesti lisää. Viljankuivauksessa käytettävän tekniikan ja polttoaineiden kannattavuus eri tiloille määräytyy pitkälti tapauskohtaisesti.

Kilpeläisen laatimassa Case: Suhmuran maamiesseuran viljankuivaamo tutkimuksessa havaittiin, että öljyn korvaaminen hakkeella tai pelletillä toimivilla järjestelmillä on haasteellista kannattavuuden ja säästöjen näkökulmasta. Tutkimuksessa tuli esille se, että toimivaa ja käyttöikä omaavaa öljykattilaa ei ole kannattavaa vaihtaa biokäyttöiseksi. Öljyn korvaaminen biojärjestelmällä vaatii myös, että kuivattava viljamäärä on 1 000 t/a luokkaa. (Kilpeläinen 2020b.)

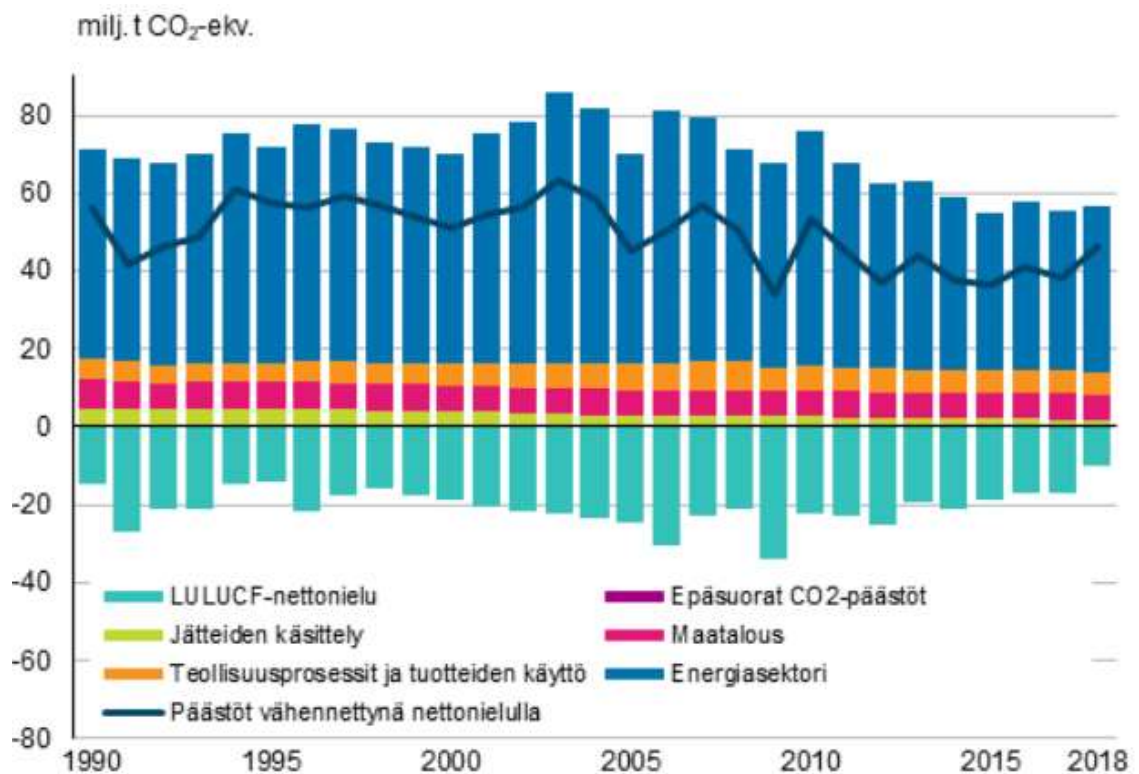
Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella-oppaan mukaan kannattavuuteen vaikuttaa öljynhinnan lisäksi investointikustannukset ja kuivaajan käyttöaika. Radiatoriratkaisu nähtiin kannattavana niille tiloille, joissa viljankuivaukseen vaadittava teho kohtaa esimerkiksi tuotantorakennusten lämmittämiseen vaadittavan tehon tarpeen kanssa. Ilmauunikohteissa ratkaisevana seikkana kannattavuuteen liittyen nähtiin laitteiston oikea mitoitus sekä kuivaajan käyttöaika ja energian tarve. Oppaassa kaukolämmön käyttö nähtiin kannattavana, mikäli kuivuri on mahdollista rakentaa lähelle lämpöverkkoa. Syysaikaan kiinteän polttoaineen kattilat toimivat pienillä tehoilla, joten kuivaukseen tarvittavaa tehoa on saatavilla hyvin. (Koskiniemi ym. 2009.)

Laitteistoista ja käytettävistä vaihtoehtoisista polttoaineista tehdyt tutkimukset käsittelevät usein haketta ja pellettiä. Kaasukäyttöisistä kuivureista ei löytynyt juuriakaan tutkittua tietoa. Etenkin nesteytetyn maakaasun (LNG) ja nesteytetyn bioakaasun (LBG) käyttömahdollisuuksista ei löytynyt tutkimuksia. Tutkimuksissa käytettävät kuivurit ja kuivausmäärät ovat toimeksiantajan laitteistotarpeeseen verrattuna pieniä.

2.4 Kuivauksen hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöt ovat yksi merkittävimmistä ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasuista. Suurin osa hiilidioksidipäästöistä ovat peräisin fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyn, kivihiilen ja maakaasun käytöstä. (Ilmasto-opas 2020.)

Suomen kasvihuonekaasupäästöt v. 2018 olivat Tilastokeskuksen kuvion 2 mukaan 56,4 milj. t CO₂-ekv ilman LULUCH-sektoria (Tilastokeskus 2020a). ”LULUCH tarkoittaa Euroopan unionin politiikkaa maankäytön, maankäytön muutosten ja metsien ilmastovaikutusten suhteen” (Forest.fi 2020).



Kuvio 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain (päästöt positiivisia ja poistumat negatiivisia lukuja) sekä kokonaispäästö vähennettynä nettonielulla (Tilastokeskus 2020a).

Palamisessa syntyy hiilidioksidia, kun hiilipitoisen polttoaineen hiili yhtyy saata-villa olevan hapen kanssa. Syntyvän hiilidioksidin määrä on riippuvainen poltto-aineen sisältämästä hiilen määrästä. Päästöjen tarkastelua voidaan suorittaa ly- hyen-, keskipitkän- ja pitkän aikavälin vaikutusten tarkasteluna.

Hiilidioksidipäästöjen laskennassa bioperäisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöt ovat hyvin tulkinnanvaraisia, sillä biomassojen voidaan nähdä sitovan pitkällä aikavälillä saman verran hiilidioksidia, kun poltettaessa vapautuu ja tästä syystä biopolttoaineet voidaan nähdä hiilidioksidineutraaleina energianlähteinä. Tarkempaa päästölaskentaa tehdessä on huomioitava, että myös biopolttoaineiden kuljetuksissa ja peltobiomassojen kohdalla esimerkiksi lannoitteet aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä, joita ei voida nähdä hiilineutraaleina. (Kysy ilmastosta 2019.)

Yksittäisen kohteen lyhyen aikavälin hiilidioksidipäästöjä voidaan laskea Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen päästökertoimien perusteella laaditun taulukon 4 arvojen perusteella. Myös biopolttoaineiden käytössä on huomioitava, että käyttö aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, vaikka niitä ei huomioidakaan pitkän aikavälin laskennassa.

Taulukko 4. Kuivaukseen käytettävien polttoaineiden päästökertoimet (Tilastokeskus 2020b).

| Polttoaine | CO ₂ päästökerroin, kg CO ₂ /MWh |
|------------------|---|
| Kevyt polttoöljy | 263 |
| Biometaani (CBG) | 197 |
| Hake | 403 |
| Tähde + kaura | 360 |
| Kaura | 360 |
| Pelletti | 403 |
| Nestekaasu | 234 |

3 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet

3.1 Tutkimuksen taustat

Tutkimuksen tarve syntyi Pohjois-Karjalan Siemen Oy:n nykyisen kevyttä polttoöljyä käyttävän viljankuivurin uusimisen yhteydessä nousseesta halusta selvittää mahdollisimman kattavasti vaihtoehtoisia kuivuriuunityyppejä ja polttoainevaihtoehtoja korvaamaan kevyen polttoöljyn käyttöä sekä laskea vaihtoehtoihin laitteistoihin investoinnin kannattavuutta yritykselle. Tutkimuksessa käsitellään mahdollisuutta hyödyntää viljan käsittelystä syntyviä sivuvirtoja kuivausenergian tuotannossa.

Tutkimus on pääasiassa kvantitatiivinen ja perustuu kohdeyritykseltä saataviin viljan kuivausmääriin ja keskiarvoiseen kuivauksen alkukosteuteen. Painopiste työssä on kuivuriuuneissa ja niihin liittyvissä laitteistoissa, jotka tuottavat lämpöä eräkuivurille. Työssä käsitellään biopolttoaineiden lisäksi nestekaasun sekä paineistetun biokaasun laitteistoja.

Kannattavuuslaskennat tehtiin pyytämällä listahintatietoja erilaisista laitekokonaisuuksista muutamalta keskeiseltä valmistajalta. Listahintoja käyttämällä välteään tarjousten tarkkojen summien julkitulo. Investointipäätöstä tehtäessä toimeksiantaja voi pyytää laskelmien pohjalta tarkemmat tarjoukset haluamiltaan valmistajilta. Valmistajien listahintojen perusteella määritettiin eri laitteistotyyppien keskiarvohinta ja laitteistotyyppien keskiarvohintoja vertailtiin keskenään. Tarkoituksena ei ollut verrata keskenään eri valmistajien samantyyppisiä laitteistoja.

Tämänhetkinen kohdeyrityksen kiinteistöjen lämmityskäytössä oleva 50 kW:n kaurapolttimella varustettu keskuslämmityskattila ei kykene vastaamaan enää täysin yritykselle rakennettujen uusien tuotantotilojen lämmitystarpeeseen, joten tämänhetkisten kiinteistöjen lämmitystehontarve ja mahdollinen kuivaukseen hyödynnettävä teho laskettiin karkeasti käyttämällä laskennassa lämmitystehontarvetta rakennuskuutioita kohti.

Laitteistojen kannattavuutta tarkastellaan takaisinmaksuajan, nykyarvomenetelmän, sisäisen koron ja herkkyysanalyysien näkökulmasta. Kannattavuuslaskennan menetelmille tehtävässä herkkyysanalyysissä pyrittiin ottamaan huomioon mahdollisimman todellisia muutoksia, jotka olivat vuosittainen kuivausmäärä, öljyn hinta ja kuivattavan siemenviljan alkukosteus. Kuivaukseen kuluviin polttoaineiden määrät vaihtoehtolaitteistoilla ja laitteistoinvestointien kustannuslaskenta suoritettiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmaa hyödyntäen.

Paineistetulle biokaasulle ei löydy tällä hetkellä jakeluverkostoa Itä-Suomessa, jonka takia polttoaineen hinta pyrittiin saada selville mahdollisimman todelliseksi tiedustelemalla mahdollista hintaa usealta potentiaaliselta toimittajalta.

3.2 Tutkimustehtävä

Tutkimuksen tehtävänä on tuoda toimeksiantajan uuden kuivurin investoinnin tueksi tietoa erilaisista kuivuriuuni- ja polttoainevaihtoehtoista sekä käytön vaatimista laitteistoista. Työn tavoitteena on nostaa esille myös kaasumaisten polttoaineiden käytön ja varastoinnin luvanvaraisuutta ja velvoitteita.

Tutkimuksen tarkoituksena oli laskea ja tutkia minkälainen energiantuottolaitteistokokonaisuus olisi taloudellisin ja monikäyttöisin ratkaisu toimeksiantajalle. Tutkimuksessa selvitettiin tilalla sivutuotteena syntyvän lajittelutähteen ja viljan hyödyntämisen kannattavuutta kuivausenergiantuotannossa.

Kohdeyrityksen keskuslämmityskattilan suurentamistarvetta silmällä pitäen työssä tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää keskuslämmityskattilasta lämmityskauden ulkopuolella saatavaa lämmitystehoa kuivausprosessissa. Mahdollisesta öljynkorvaamisesta saatavista hiilidioksidipäästöjen pienenemisestä tehdään suuntaa antavat laskelmat eri polttoainevaihtoehtojen lyhyellä- ja pitkällä tarkastelujaksolla.

4 Menetelmälliset valinnat

4.1 Investointilaskenta

Investoinnissa rahaa sijoitetaan tuotannon tai liiketoiminnan kohteeseen, josta odotetaan saatavan tuottoja usean vuoden aikana. Investointilaskennassa rahan nykyarvon määrittäminen eli diskonttaus on keskeinen toimenpide, jossa kaikki suoritukset saadaan keskenään vertailukelpoisiksi siirtämällä ne ajallisesti samaan ajankohtaan laskentakorkokantaa käyttäen. Mahdollisimman todenmukaisen kannattavuuden määrittämiseksi investointilaskentaan tulee sisällyttää usean laskentamenetelmän käyttöä. Investointipäätöstä tehtäessä laskelmien lisäksi valintakriteereihin tulee sisällyttää näkemyksiin ja arvoihin liittyvät asiat, kuten eettiset arvot tai ympäristökysymykset. (Saaranen ym. 2016, 323.)

Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan menetelmä on suhteellisen yksinkertainen tapa selvittää, kuinka monen vuoden kuluttua investoinnin nettotuotot kattavat investoinnin hankintamenon. Kyseisellä menetelmällä investointi voidaan nähdä kannattavaksi, mikäli takaisinmaksuaika on yrityksen asettamaa tavoiteaikaa lyhyempi. Takaisinmaksuajan menetelmässä ei huomioida takaisinmaksuajan jälkeen tulevia kustannuksia ja tuottoja, kuten jäännösarvoa. (Saaranen ym. 2016, 327-328.)

Koroton takaisinmaksuaika

- Mikäli vuotuiset nettotuotot ovat samansuuruisia, saadaan takaisinmaksuaika laskettua jakamalla hankintamenot vuotuisella nettotuotolla kaavalla 1.

$$\frac{\text{Hankintameno}}{\text{Vuotuinen nettotuotto}} = \text{Koroton takaisinmaksuaika} \quad (1)$$

Vuotuisten nettotuottojen ollessa erisuuruiset summataan nettotuottoja, kunnes niiden summa on yhtä suuri kuin hankintamenot. (Saaranen ym. 2016, 328).

Korollinen takaisinmaksuaika

- Korollisen takaisinmaksuajan menetelmässä huomioidaan rahan aika-arvo eli laskentakorkokanta. Korollinen takaisinmaksuaika saadaan summaamalla investointihetkelle diskontattuja vuotuisia nettotuottoja, kunnes niiden summa on yhtä suuri kuin hankintamenot. (Saaranen ym. 2016, 329.)

Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä investoinnin aikaiset tuotot ja kustannukset diskontataan nykyaikaan. Investointi voidaan nähdä kannattavana, mikäli tuottojen nykyarvo ylittää kustannusten nykyarvon. Vertailtaessa eri investointien kannattavuuksia, kannattavin investointi on se, jossa investoinnin nykyarvon ja tuottojen nykyarvon erotus on suurin. (Saaranen ym. 2016, 331.)

Vuotuinen nettotuotto saadaan vähentämällä tuottojen nykyarvosta, kustannusten nykyarvo. Mikäli vuotuiset nettotuotot ovat samansuuruisia saadaan nykyarvo laskettua jaksollisten suoritusten nykyarvon kaavalla 2. (Saaranen ym. 2016, 332.)

$$PV = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n * i} * PMT \quad (2)$$

jossa:

n = suoritusten lukumäärä

i = korkokanta desimaalisena

PMT = jaksollinen suoritus (vuotuinen nettotuotto)

Vuotuisten nettotuottojen ollessa erisuuruisia nykyarvo lasketaan summaamalla jokaisen vuoden diskontatut nettotuotot. Vuotuinen diskontattu nettotuotto k saadaan kaavalla 3. (Terävä-Helminen 2013, 10.)

$$k = \frac{K}{(1+i)^n} \quad (3)$$

jossa:

K = pääoma laskenta-ajan lopussa

i = korkokanta desimaalisena

n = maksuaika kokonaisina vuosina

Sisäinen korkokanta

Sisäisen korkokannan menetelmällä saadaan määritettyä korkokanta, jolla tuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin kustannusten nykyarvo, eli investoinnin tuotto on 0. Menetelmä määrittää investoinnin laskennallisen vuosituotto-prosentin. Investointi voidaan nähdä kannattavana, mikäli sisäinen korko ylittää yrityksen määrittämän tavoite eli laskentakorkokannan. Vertailtaessa eri investointien kannattavuuksia, kannattavin investointi on se, jonka sisäinen korkokanta on suurin. (Saaranen ym. 2016, 337.)

Sisäinen korko r voidaan ratkaista kokeilemalla tai interpoloimalla kaavasta 4 (Terävä-Helminen 2013, 19).

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{JA}{(1+r)^n} - H = 0 \quad (4)$$

jossa:

S_t = investoinnin synnyttämät nettotuotot vuonna t

JA = investoinnin jäännösarvo pitoajan n lopussa

n = investoinnin pitoaika

H = perusinvestointi

Sisäisen korkokannan määrittämisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi laskennassa on suositeltavaa käyttää laskentaohjelmaa esimerkiksi Excel funktioita:

- IRR (SISÄINEN.KORKO), mikäli vuotuiset nettotuotot ovat eri suuruksia
- RATE (KORKO), mikäli vuotuiset nettotuotot ovat yhtä suuria

Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysillä saadaan testattua investoinnin kannattavuuden herkkyyttä eri lähtöarvojen muutoksille. Investoinnin herkkyyttä voidaan testata kaksisuuntaisella herkkyysanalyysillä, jossa tutkitaan kahden lähtöarvon ristikkäisvaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Muuttuvia arvoja voivat olla esimerkiksi laskentakorkokannan ja vuositulotujen muutokset, mutta testattavat muuttujat valitaan tapauskohtaisesti. (Saaranen ym. 2016, 350.)

4.2 Kannattavuuslaskennan lähtötiedot

Kohdeyrityksen vuotuinen kuivattavan siemenen määrä on keskimäärin 1 000 t/a. Kuivattavan siemenmateriaalin puintikosteus vaihtelee lajikkeittain ja vallitsevien sääolojen mukaan, mutta keskimääräisenä kosteutena voidaan pitää 20 %. Kuivauksessa asetettu tavoite kosteutena on 13,5 %. Nykyinen 380 hehtolitrin kuivurilaitteisto tulee korvautumaan 520 hehtolitrin kuivauskapasiteetin omaavalla alipaine-eräkuivurilla, jonka valmistajan antama kuivuriuunisuositus on 800 kW.

Vanhalla viljapoltintoimisella keskuslämmityskattilalla lämmitettävien kuvassa 2 näkyvien kiinteistöjen yhteispinta-ala on 802 m². Lämmitettävä pinta-ala koostuu kahdesta asuinkiinteistöstä, vanhasta 200 m² hirsirunkoisesta asuinrakennuksesta 1 ja uudemmasta 185 m² puurunkoisesta asuinrakennuksesta 2. Asuinrakennusten lisäksi lämmitettävänä on myös kaksi 160 m²:n puolilämmintä hallirakennusta ja 75 m² toimistotilat, jonka yhteydessä on 25 m² puolilämminvarasto.

Yritys tavoittelee investoinnilleen 10 vuoden takaisinmaksuaikaa 6 %:n korolla. Investointiajaksi määritettiin 15 vuotta, sillä sen jälkeen laitteistojen eri osat alkavat mahdollisesti vaatia suurempaa huoltoa. Laskelmissa huomioidaan kuivamon lämmöntuotantoinvestoinnille mahdollisesti saatava energiantuotantotuki, jonka suuruus on 40 %. Tuen hakuehtona on, että energialaitoksessa hyödynnetään uusiutuvaa energialähdettä ja tuen suuruus tulee olla vähintään 7 000 € (Ruokavirasto 2020).

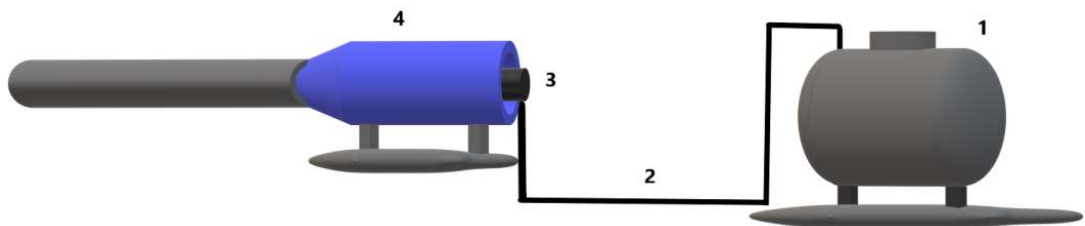
Taulukko 5. Kannattavuuslaskelmissa käytettävät lähtötiedot ja olettamat.

| Lähtötiedot | |
|----------------------------------|-----------|
| Investointiaika | 15 vuotta |
| Laskentakorko | 6 % |
| Jäännösarvo | 0 % |
| Huolto- ja kunnossapitokustannus | 3 €/MWh |
| Vakuutus | 600 €/a |
| Omantyön hinta varastontäyttö | 20 €/h |

4.3 Energiantuotantojärjestelmän vaihtoehdot

Kannattavuustarkasteluun valikoitui laitteistoista saatujen lähtötietojen perusteella seuraavassa luettelossa esiin tulevat energiantuotantojärjestelmäkokonaisuudet. Eri uunivaihtoehdoilla yhden kuivauserän vaatima polttoainetarve on havainnollistettu kuviossa 3.

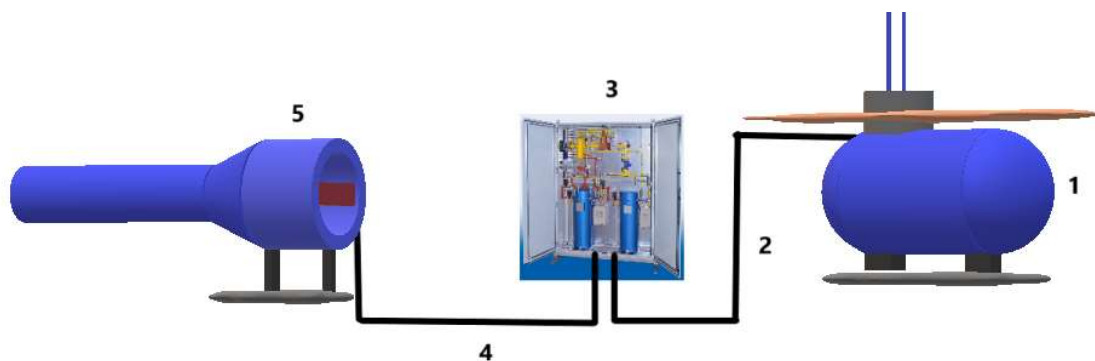
- **Vertailulaitteisto:** Laskelmien vertailukohtana käytetään uutta uunihuoneeseen sijoitettua kuvassa 21 havainnollistettua öljypolttimella varustettua 1 000kW alipaineuunia. Investointikustannus kyseiselle vertailukokonaisuudelle käyttölaitteineen ja öljysäiliön kanssa on noin 60 600 €.



Kuva 21. Kevyttä polttoöljyä käyttävän järjestelmän pääkomponentit 1. öljysäiliö, 2. öljynsyöttö- ja paluuputket, 3. öljypoltin, 4. alipaineuuni, (Piirros: Petri Aimasmäki).

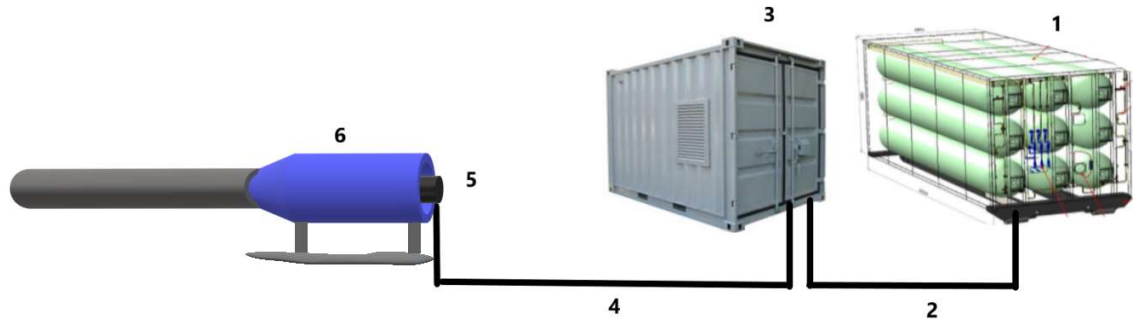
- **Vaihtoehto 1:** Nestekaasukäyttöinen järjestelmä koostuu kuvan 22 pääkomponenttien mukaisesti, kevyeen sääsuojaan sijoitetusta 1 200 kW kanavamallisesta suorakaasupoltimesta, 100 kg/h tehoisesta höyrystinkeskuksesta, sekä riittävän polttoainekapasiteetin turvaamiseksi 9 m³

maapeitteisestä propaanisäiliöstä. Höyrystinkeskuksessa kaasu höyrystetään sähkölämmitteisesti ja keskus sisältää myös paineenalennuslaitteet, jossa kaasunpaine lasketaan polttimelle soveltuvaksi. Investointikustannukset asennettuna kyseiselle kokonaisuudelle valvonta-, säätö- ja turvalaitteineen ovat noin 47 300 €. Höyrystinkeskus ja propaanivarastosäiliö ovat vuokrattuina kaasun toimittajalta ja niiden yhteisvuokra on 2 000 €/a.



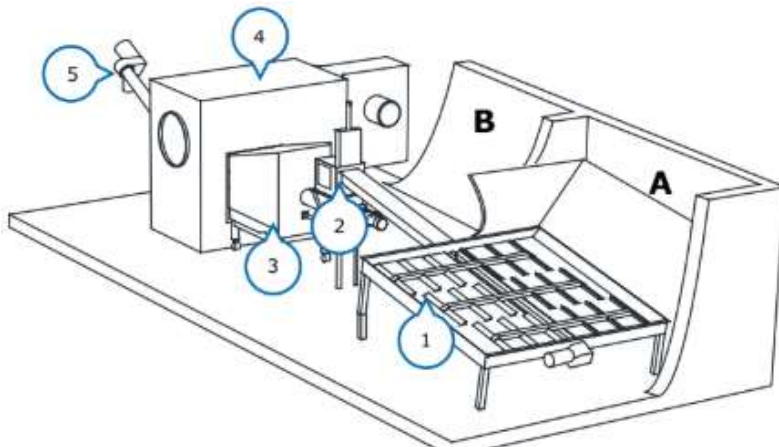
Kuva 22. Nestekaasua käyttävän järjestelmän pääkomponentit 1. maapeitteinen nestekaasusäiliö, 2. kaasinsiirtoputki, 3. höyrystinkeskus, 4. kaasinsiirtoputki, 5. kanavamallinensuorakaasupoltin (Höyrystinkeskuksen kuva: Fingas Oy 2020. Piirros: Petri Aimasmäki).

- **Vaihtoehto 2:** Paineistettua biokaasua käyttävä järjestelmä koostuu kuvan 23 pääkomponenttien mukaisesti, paineistetun biokaasun siirtokontista, jossa kaasu toimitetaan käyttöpaikalle. Toimitettavan siirtokontin kapasiteetti on noin 2 900 kg. Siirtokontti kytketään paineenpurkuliitoskonttiin, jossa paine lasketaan ensin lämmitettävällä paineenalennusventtiilisarjalla muutaman baarin paineeseen, jonka jälkeen paine pudotetaan toisella venttiilisarjalla polttimen vaatimalle n.0,05–0,1 baarin painetasolle. Kattilana toimii kevyeen sääsuojan sijoitettu 1 000 kW:n alipaineuuni, joka on varustettu moduloivalla säädöllä toimivalla kaasupolttimella. Investointikustannukset kyseiselle kokonaisuudelle ovat noin 83 600€, jossa on huomioitu investoinnille mahdollisesti saatava 40% energiantuotantotuki Siirtokontin vuokra on sisällytetty energiahintaan 107€/MWh.



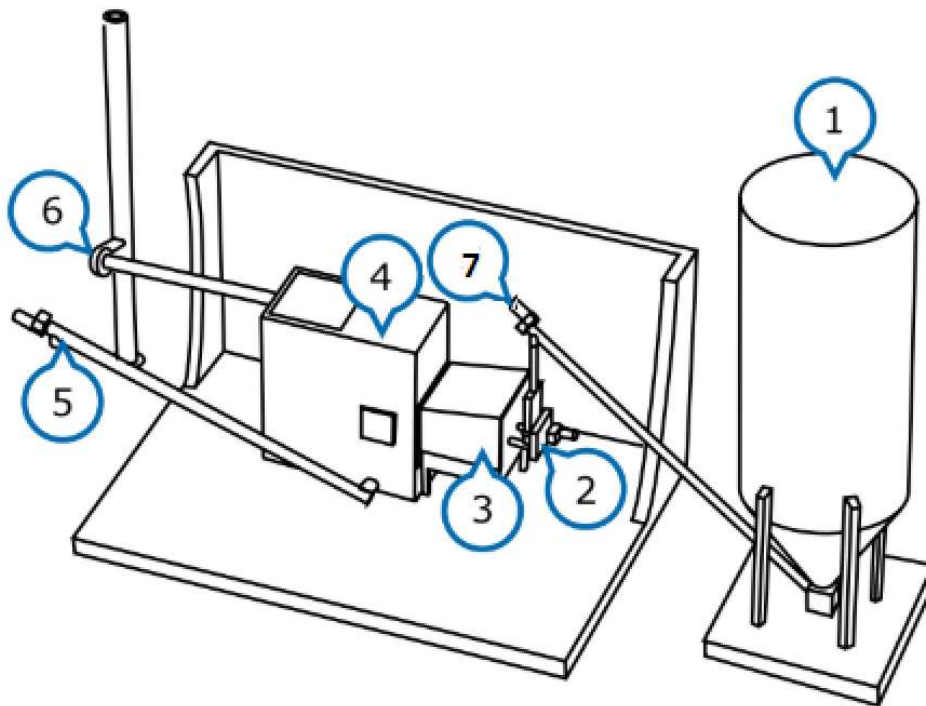
Kuva 23. Paineistettua biokaasua käyttävän järjestelmän pääkomponentit 1. paineistetun biokaasun siirtokontti, 2. liitosletku, 3. paineenpurkuliitoskontti, 4. kaasunsiirtoputki, 5. kaasupoltin, 6. alipaineuuni (Siirtokontin kuva: Suomilammi 2018. Merikontin kuva: HSA Oy 2020. Piirros: Petri Aimasmäki).

- **Vaihtoehto 3:** Hakkeen sekä lajittelutähteestä ja kaurasta tehdyn seoksen käyttöön valikoitui kuvan 24 tyyppinen laitekokonaisuus, jossa on hydraulisesti liikkuvalla-arinalla toimiva palopää, joka on liitetty 800 kW biouuniin. Biouuni on sijoitettu erilliseen uunihuoneeseen. Polttoaineen syöttöä varten kokonaisuuteen kuuluu 52 m² polttoainevarastoon sijoitettu pohjapurkaimella varustettu 40 i-m³ polttoainetasku, jota täytetään traktorin kuormaimella. Hake siirretään polttoainetaskusta ruuvikuljettimella välisäiliön kautta palopäähän. Polttoainevarastossa olevassa välivarastossa voidaan varastoida noin 100 i-m³ haketta tai seosta. Tuhka poistuu kattilan tuhkatilasta ruuvikuljettimella. Investointikustannus kyseiselle kokonaisuudelle käyttölaitteineen on noin 90 300 €, jossa on huomioitu investoinnille mahdollisesti saatava 40% energiantuotantotuki.



Kuva 24. Biopolttoaineita käyttävän kuivuriuunilaitteiston pääkomponentit. 1. pohjapurkain, 2. välisäiliö, 3. palopää, 4. kuivuriuuni, 5. tuhkan ruuvikuljetin (Biofire Oy 2018, 6).

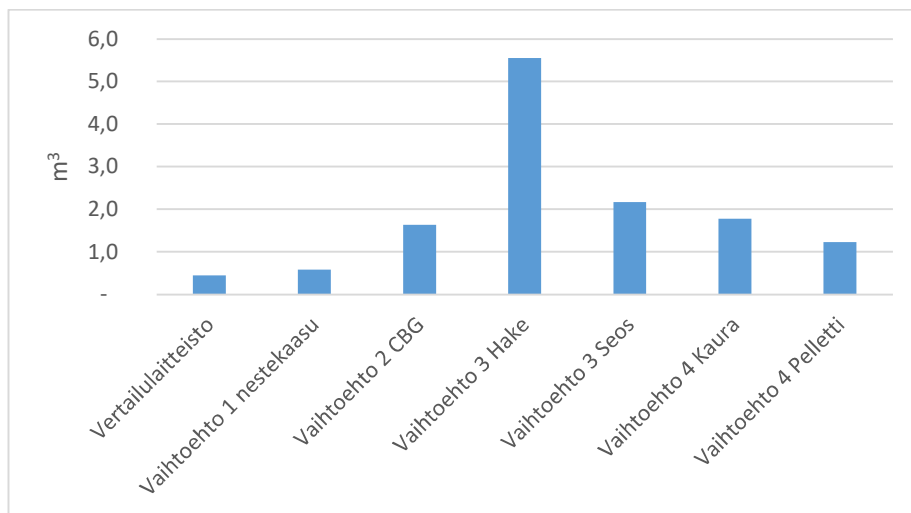
- **Vaihtoehto 4:** Pelletin ja viljan käyttöön valittiin kuvan 25 tyyppinen laitekokonaisuus, jossa on sama palopää kuin vaihtoehto 3:ssa, sillä yksistään pelletille suunnitellut palopääät olivat tarvittavaan tehon nähden liian pieniä tai ne olivat suunniteltu käytettäväksi lämpökeskuksissa, myös kuivuriuuni ja tuhkanpoistoruuvi olivat samoja hakekäyttöisen kanssa. Polttoaineen syöttöä varten kokonaisuuteen kuuluu 30 i-m³ polttoainesiilo, josta polttoaine siirretään ruuvikuljettimella välisäiliön kautta palopäähän. Välivarasto sulkusyöttimiseen toimii takapalosuoja. Investointikustannus kyseiselle kokonaisuudelle käyttölaitteineen on noin 56 400 €, jossa on huomioitu investoinnille mahdollisesti saatava 40 % energiantuotantotuki.



Kuva 25. Pellettiä tai viljaa käyttävän kuivuriuunilaitteiston pääkomponentit. 1. polttoainesiilo, 2. välisäiliö, 3. palopää, 4. kuivuriuuni, 5. tuhkan ruuvikuljetin, 6. Alipaineohjattu savukaasuimuri, 7. ruuvikuljetin (Kuva: Biofire Oy 2018, 20. 7-numeron lisäys: Petri Aimasmäki).

- **Vaihtoehto 5:** Osa kuivaamiseen tarvittavasta lämpöenergiasta tuotetaan tilan kiinteistöjä lämmittävällä keskuslämmityskattilalla. Keskuslämmityskattila suurenee mahdollisen uusimisen yhteydessä vastaamaan paremmin nykyistä kiinteistöjen lämmitystehontarvetta. Kattilan sijoittuminen kohdeyrityksellä halli 1:ssä voidaan nähdä kuvassa 2. Kuvassa 2 on myös

nähtävillä lämmönsiirtoa varten tarvittava lämpökanaalilinja. Keskuslämmityskattilalla tuotettu lämpö johdetaan lämmityskanaalia pitkin noin 90 metriä kuivurin kuivausilmakanavassa sijaitsevaan 100 kW radiaattoriin. Investointikustannukset kyseiselle kokonaisuudelle asennettuna sisältäen radiaattorin, lämpökanaalin, tarvittavat pumput, sekä muut laitteistot kuten paisunnat, varo- ja käyttölaitteet ovat noin 17 700 € + 700 kW biouuni 48 100€.



Kuvio 3. Yhden kuivauserän kuivaukseen tarvittava polttoaine tilavuus vertailtavilla laitteistoilla tuotettuina. Tarvittavaan määrään on huomioitu kattilan hyötysuhde.

4.4 Lupaprosessit ja velvoitteet

Kunnan rakennusvalvonnasta haettavien rakennuslupien lisäksi helposti syttyvien kaasujen käyttö ja varastointi tuo lisäselvitettävää ja velvoitteita, jotka on hyvä huomioida investointeja vertailtaessa. Tässä osiossa käsitellään keskeisimmät luvat ja velvoitteet, mutta lopullista investointia tehtäessä tarvittavien lupien ja säännösten tarkemmat käytänteet tulee selvittää valvovalta viranomaiselta.

Vaihtoehdossa 1 yksistään varastoitavan nestekaasun määrän ollessa noin 4 t käytön katsotaan kuuluvan (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 855/2012) vähäisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin piiriin, ja sitä valvovana viranomaisena toimii alueellinen pelastusviranomainen. Vähäisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin rajana on 5 t. Lupatarpeen

määrityksessä on huomioitava, että tarkastelussa huomioidaan myös muut tilalla olevat vaaralliseksi luokiteltavat kemikaalit, esim. polttoöljy.

Pelastusviranomaiselle tulee tehdä asetuksen 855/2012 4 luvun 32§ mukainen ilmoitus vähintään kuukautta ennen varastoinnin aloittamista. Ilmoitus sisältää muun muassa tiedot toiminnanharjoittajasta, käyttöpaikasta ja käsiteltävistä palo- ja räjähdysvaarallisista kemikaaleista. Ilmoitukseen liitetään mukaan riskianalyysi ja räjähdys-suojausasiakirja. Pelastusviranomainen tekee laitteistolle tarkastuksen ennen sen käyttöönottoa.

Kyseisen nestekaasuvaihtoehdon nestekaasusäiliö luokitellaan rekisteröitäväksi painelaitteeksi (Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta 1549/2016 2 luku 6§ kohta 7), jolloin omistajan tai haltijan on ilmoitettava laite Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ylläpitämään painelaiterekisteriin ja sille tulee tästä syystä määritellä muun muassa painelaitteen käytönvalvoja. Painelaitteiden käytönvalvojalle ei ole muodollista pätevyysvaatimusta, esimerkiksi koetta, vaan edellytyksenä nimeämiselle on, että käytönvalvojalla on asiantuntemus painelaitteen rakenteesta, käytöstä ja kunnossapidosta. (Tukes 2020a.)

Vaihtoehdossa 2 käytettävään paineistettuun biokaasuun sovelletaan maakaasusetuksen mukaista lainsäädäntöä, sillä biokaasu rinnastetaan hallinnollisten vaatimusten osalta maakaasuksi, kun metaanipitoisuus on ≥ 80 % (Perälä 2019).

Kyseisessä paineistetun biokaasun vaihtoehdossa varastoitava määrä tulisi olemaan noin 3 t, jolloin siitä tulee tehdä ilmoitus Turvallisuus- ja kemikaalivirastoon. Ilmoituksen rajat ovat varastoitava määrä < 5 t, mutta yli 200 kg. (Tukes 2020b.) Kohteelle tulee määritellä myös maakaasukohteen käytönvalvoja, jonka tehtävänä on valvoa toimintaa ja huolehtia laitteiden turvallisesta käytöstä.

Maakaasukohteen käytönvalvojan pätevyysvaatimuksena on hyväksytysti suoritettu Tukesin järjestämä maakaasun käytönvalvojan koe ja riittävä työkokemus käyttöön ja varastointiin perehdyttävissä tehtävissä (Tukes 2020c).

5 Tulokset

5.1 Kuivauksen kannattavuus

Lopullisista kannattavuuslaskelmista päädyttiin tiputtamaan pois vaihtoehto 5 radiaattoriratkaisu, sillä liitteessä 1 tehtyjen karkeiden laskelmien mukaan tämän hetkinen kiinteistöjen lämmitystehontarve on noin 60 kW, jolloin radiaattorin vaatiman noin 100 kW:n kattilasta tulisi ylimitoitettu kiinteistöjen lämmityskaudella käytettäväksi. Liitteessä 1 nähtävien laskelmien mukaan 100 kW pienemmän kuivuriuunin investointihinnan laskeminen ei kata radiaattorilaitteiston investointikustannuksia. Laskelmissa ei ole myöskään huomioitu kahden kattilan yhdistämisestä tulevia automaatiokustannuksia ja käytöstä koituvia lisätyökustannuksia.

Tarkasteltavien laitteistojen vuosikustannukset muodostuivat kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista. Kiinteitä kustannuksia olivat vakuutukset ja investointihinnalle laskettu vuosiannuiteetti, joka jakaa investointikustannuksen tasaisesti koko investointiajalle. Muuttuvia kustannuksia olivat polttoaine-, omatyö-, huolto- ja kunnossapitokustannukset. Laitteistojen vuosikustannuksiksi muodostui taulukon 6 mukaiset summat, joista saatiin erotuksena taulukon 7 mukaiset laitteistojen vuosisäästöt. Laskettujen vuosisäästöjen mukaan vaihtoehdot 1 ja 2 tuottavat vuodessa tappiota asetetuilla lähtöarvoilla.

Taulukko 6. Laitteistojen vuosikustannukset.

| Laitteisto | Vuosikustannukset, €/a |
|-------------------------|------------------------|
| Vertailulaitteisto | 16 612 € |
| Vaihtoehto 1 Nestekaasu | 18 071 € |
| Vaihtoehto 2 CBG | 25 309 € |
| Vaihtoehto 3 Hake | 13 589 € |
| Vaihtoehto 3 Seos | 11 587 € |
| Vaihtoehto 4 Kaura | 8 896 € |
| Vaihtoehto 4 Pelletti | 11 847 € |

Taulukko 7. Laitteistojen vuosisäästöt.

| Laitteisto | Vuosisäästöt, €/a |
|-------------------------|-------------------|
| Vaihtoehto 1 Nestekaasu | -1 459 € |
| Vaihtoehto 2 CBG | -8 697 € |
| Vaihtoehto 3 Hake | 3 023 € |
| Vaihtoehto 3 Seos | 5 025 € |
| Vaihtoehto 4 Kaura | 7 716 € |
| Vaihtoehto 4 Pelletti | 4 765 € |

Laiteinvestoinneille laskettiin saatujen kustannusten ja säästöjen pohjalta taulukon 8 mukaiset korottomat ja korolliset takaisinmaksuajat. Takaisinmaksuajaksi määrittyi maksimissaan 30 vuotta, sillä laitteiston katsottiin ylittäneen silloin reilusti teknisen käyttöikänsä.

Vaihtoehtojen 1 ja 2 tuottaessa vuosittain tappiota kyseiset laitteistot eivät kykene maksamaan itseään takaisin. Vaikka vaihtoehtojen 3 hake, 3 seos ja 4 pelletti vuosisäästöt olivat positiiviset, eivät ne kyenneet maksamaan itseään takaisin vaaditussa ajassa. Vaihtoehto 4 kaura investointi kykenee alittamaan asetetun takaisinmaksuajan.

Taulukko 8. Laitteistojen takaisinmaksuajat asetetuilla lähtötiedoilla.

| Laitteisto | Koroton takaisinmaksu-aika, vuotta | Korollinen takaisinmaksu-aika, vuotta |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Vaihtoehto 1 | - | - |
| Vaihtoehto 2 | - | - |
| Vaihtoehto 3 Hake | 30 | - |
| Vaihtoehto 3 Seos | 18 | - |
| Vaihtoehto 4 Kaura | 7 | 10 |
| Vaihtoehto 4 Pelletti | 12 | 21 |

Laitteistojen kannattavuutta nykyarvomenetelmällä tarkasteltiin vertaamalla laiteistovaihtoehtojen investointiaikana muodostamien tuottojen nykyarvoa investointikustannuksen nykyarvoon, josta saatiin taulukon 9 mukaiset erotukset. Kaikkien muiden investointien nykyarvojen erotus oli negatiivinen, lukuun ottamatta vaihtoehtojen 4 kauran reilun 18 500 € erotusta.

Taulukko 9. Laitteistojen tuottojen nykyarvon ja investoinnin nykyarvon erotus.

| Laitteisto | Nykyarvojen erotus, € |
|-------------------------|-----------------------|
| Vaihtoehto 1 nestekaasu | -61 470 € |
| Vaihtoehto 2 CBG | -84 466 € |
| Vaihtoehto 3 Hake | -60 938 € |
| Vaihtoehto 3 Seos | -41 499 € |
| Vaihtoehto 4 Kaura | 18 544 € |
| Vaihtoehto 4 Pelletti | -10 121 € |

Laitteistovaihtoehtoillemääritettiin laskennallinen vuosituotto prosentti, eli sisäinen korkokanta, jolla laitteistovaihtoehtojen investointiaikana muodostamien tuottojen nykyarvon summa on yhtä suuri kuin kustannusten nykyarvo, eli investoinnin tuotto on 0.

Taulukosta 10 voidaan havaita, että 15 vuoden poistoajalla vaihtoehtojen 1–3 sisäiset korot ovat joko negatiivisia tai niitä ei voitu laskea negatiivisten vuosituottojen takia. Vaihtoehtoon 4 pelletti sisäinen korko alittaa investoinnille asetetun vuosituotto prosenttin. Vaihtoehtoon 4 kaura sisäinen korko ylittää merkittävästi asetetun vuosituotto prosenttin.

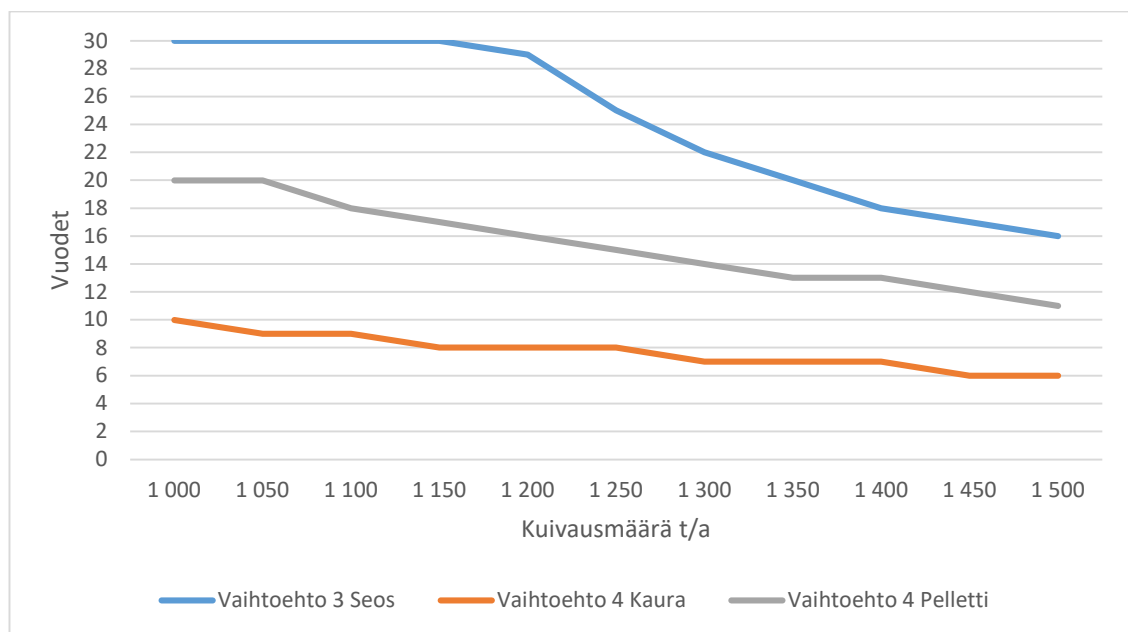
Taulukko 10. Laitteistoinvestointien laskennallinen vuosituotto prosentti.

| Laitteisto | Sisäinen korko, % |
|-------------------------|-------------------|
| Vaihtoehto 1 nestekaasu | - |
| Vaihtoehto 2 CBG | - |
| Vaihtoehto 3 Hake | -8 % |
| Vaihtoehto 3 Seos | -2 % |
| Vaihtoehto 4 Kaura | 11 % |
| Vaihtoehto 4 Pelletti | 3 % |

5.2 Herkkyysanalyysi

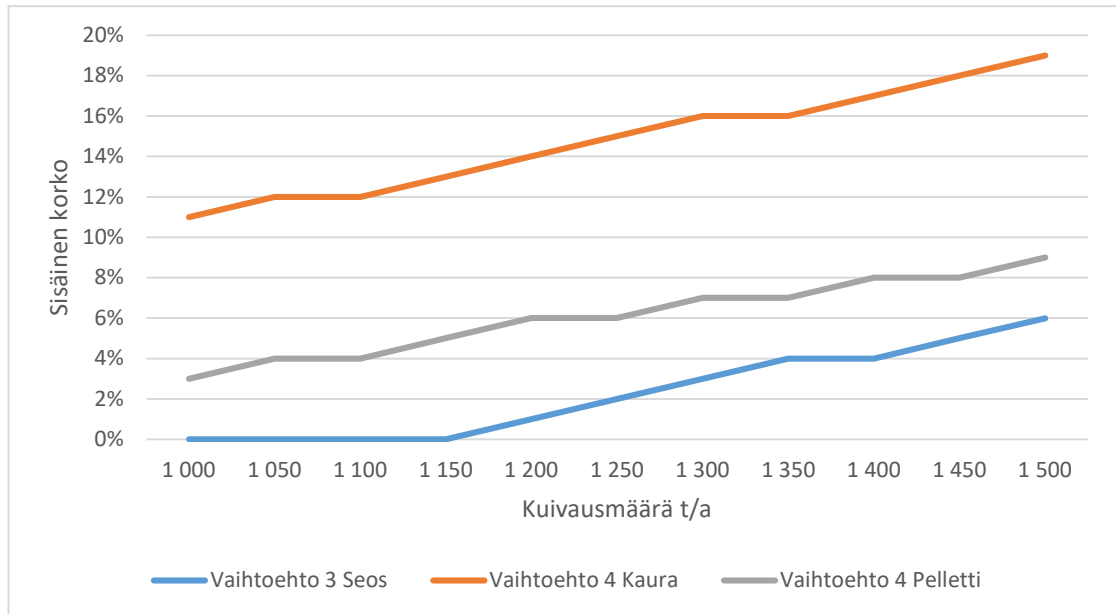
Herkkyysanalyysiä tehtiin muuttamalla lähtöarvoja ja tutkimalla niiden vaikutusta korolliseen takaisinmaksuaikaan ja sisäiseen korkoon. Muuttuvina tekijöinä olivat vuosittainen kuivausmäärä, öljyn hinta ja kuivattavan siemenviljan alkukosteus.

Vuosittaisen kuivausmäärän vaikutusta kokeiltiin muuttamalla kuivausmäärää nykyisen 1 000 t/a ja 1 500 t/a välillä. Kyseisellä muutoksella ei ollut riittävää vaikutusta vaihtoehtoihin 1, 2 ja 3 hake, joten ne jätettiin pois analyysistä. Kuvioista 4 voidaan havaita, että kyseinen muutos lyhentää huomattavasti vaihtoehtojen 3 seos ja 4 pelletti korollista takaisinmaksuaikaa, mutta ei tuo niitä vielä tavoiteaikaan.



Kuvio 4. Vuosittaisen kuivausmäärän vaikutus korolliseen takaisinmaksu-aikaan.

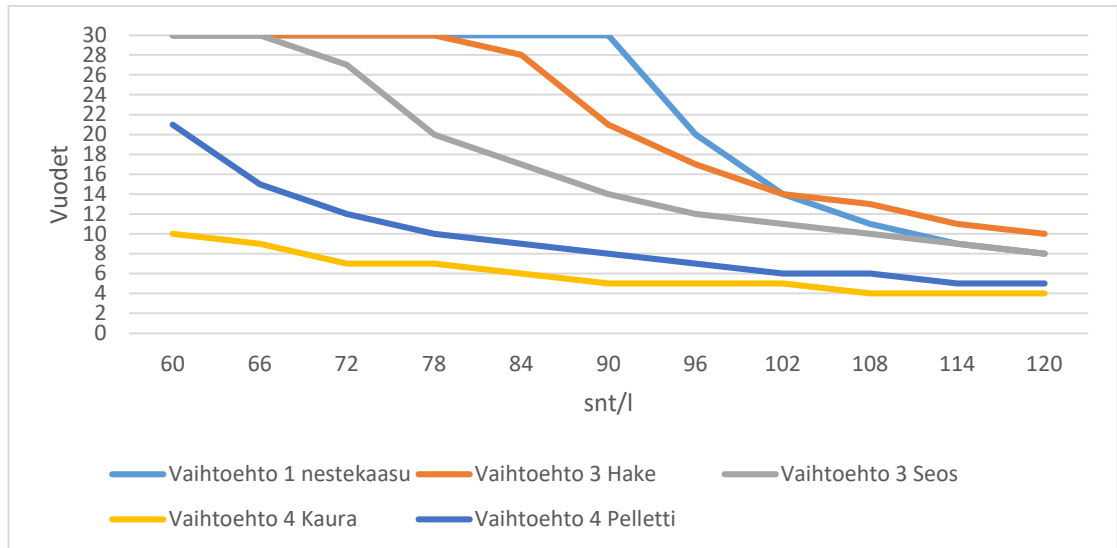
Kuviosta 5 voidaan havaita, että kuivausmäärän nostaminen 1 200 t/a tuo vaihtoehto 4 pelletin kannattavuusrajalte sisäisen koron näkökulmasta. Vaihtoehtoon 3 seos osalta kannattavuusrajalte päästään juuri 1 500 t/a.



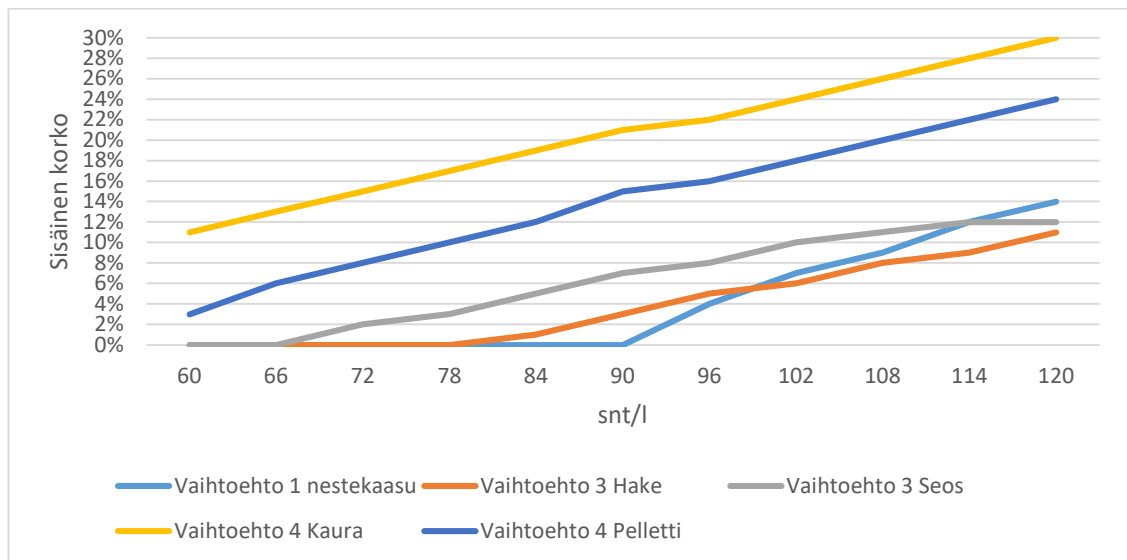
Kuvio 5. Vuosittaisen kuivausmäärän vaikutus sisäiseen korkoon.

Öljyn hinnan vaikutusta kokeiltiin muuttamalla öljyn hintaa nykyisen 60 snt/l ja kaksinkertaisen hinnan (120 snt/l) välillä. Öljyn hinnan kaksinkertaistamisella ei ollut riittävää vaikutusta vaihtoehtoon 1, joten se jätettiin pois analyysistä.

Kuviosta 6 voidaan havaita, että jos öljyn hinta nousee 30 %, vaihtoehto 4 pelletti, saavuttaa tavoitellun takaisinmaksuajan. Muilla laitteistoilla vaaditaan yli 80 % korotus öljyn hintaan. Kuviossa 7 havaitaan, että jo noin 10 %:n korotus öljyn hintaan tuo vaihtoehtoon 4 pelletti kannattavuudenrajalte. Muilla laitteistoilla korotuksen tulisi olla 50–70 %.



Kuvio 6. Öljyn hinnan vaikutus korolliseen takaisinmaksuaikaan.

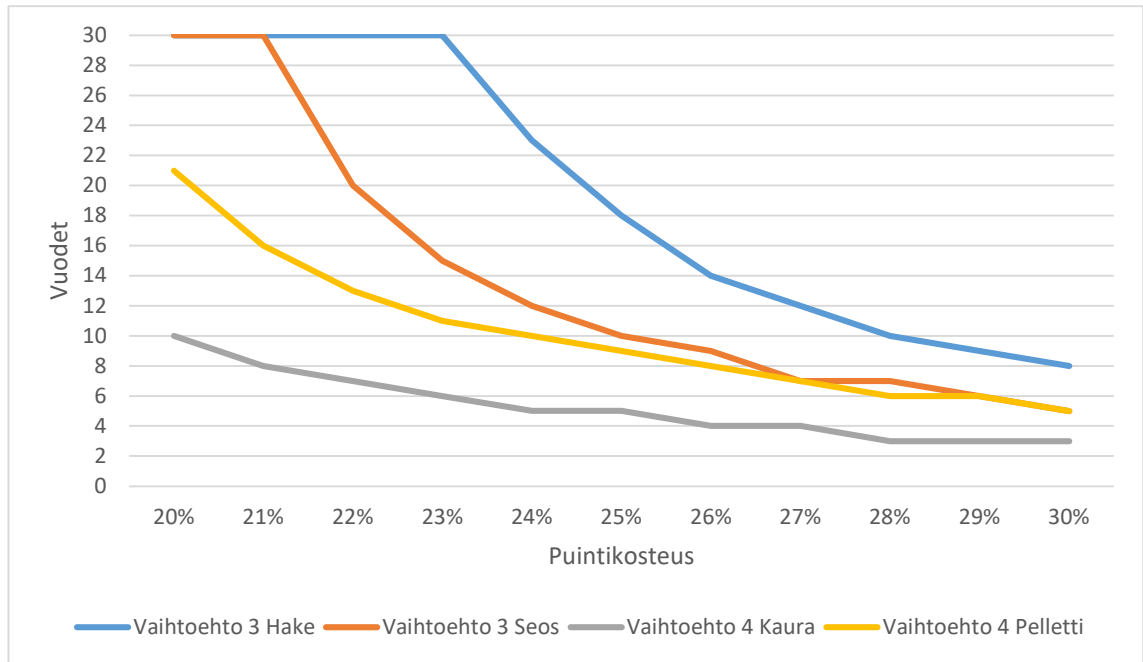


Kuvio 7. Öljyn hinnan vaikutus sisäiseen korkoon.

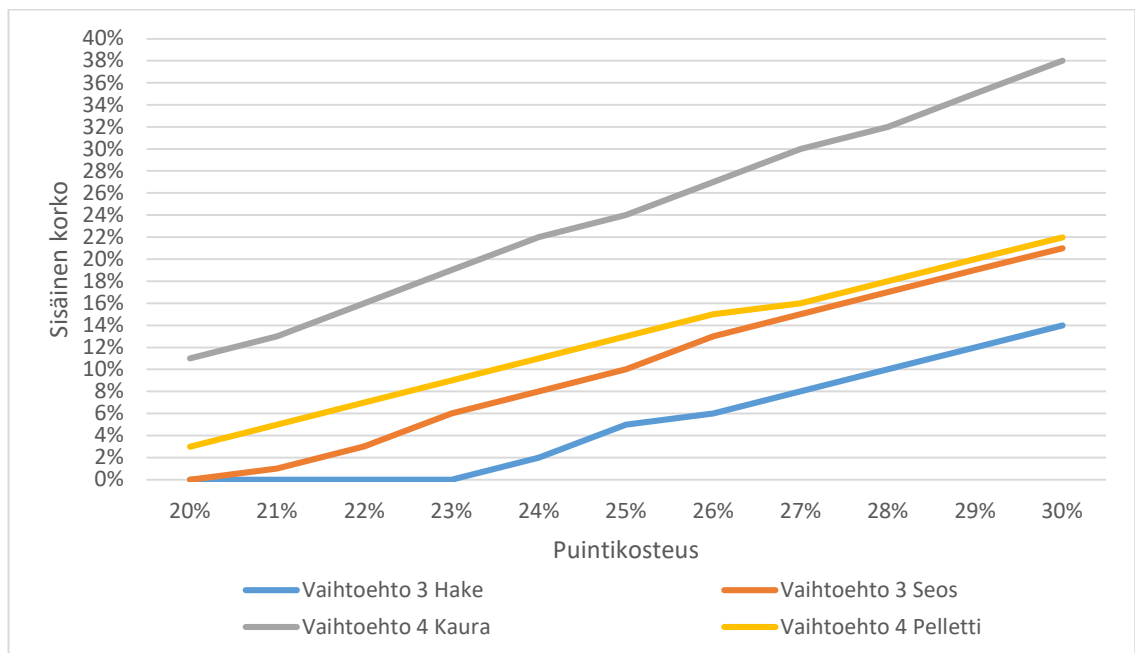
Kuivattavan siemenviljan alkukosteuden vaikutusta kokeiltiin muuttamalla kuivauksen lähtökosteutta nykyisen keskiarvon 20 %:n ja 30 %:n välillä. Kuivauksen alkukosteuden mukanaan tuoman energiatarpeen lisääntyminen ei tuonut riittävä vaikutusta vaihtoehtoon 1 ja 2, joten ne jätettiin pois analyysistä.

Kuviosta 8 voidaan havaita, että lähtökosteudella on selvää vaikutusta korolliseen takaisinmaksuaikaan. Vaihtoehdot 4 pelletti ja 3 seos saavuttavat asetetun takaisinmaksuajan 25 %:n lähtökosteudessa ja vaihtoehto 3 hake 28 %:n kosteu-

nessa. Kuviossa 9 on nähtävissä myös lähtökosteuden vaikutus. Kaikkien laitteiden sisäinen korko on päässyt kannattavuusrajalle viimeistään lähtökosteuden ollessa 26 %.



Kuvio 8. Kuivauksen alkukosteuden vaikutus korolliseen takaisinmaksuaikaan.



Kuvio 9. Kuivauksen alkukosteuden vaikutus sisäiseen korkoon.

Laskenta suoritettiin myös sille vaihtoehdolle, jossa viljan ja lajittelutähteen muodostamaa polttoaineseosta käytettäisiin vaihtoehdon 4 laitteistolla, jolloin säästettäisiin polttoaineen varasto- ja kuljetinkustannuksissa. Taulukosta 11 nähdään, että kyseinen vaihtoehto antaisi kannattavuuden näkökohdasta hieman paremmat tulokset verrattaessa alkuperäisillä lähtöarvoilla saatuja tuloksia vaihtoehtoon 4 kaura.

Taulukko 11. Seospolttoaineen käyttö vaihtoehdon 4 laitteistolla.

| Selite | Seos | Kaura |
|--------------------------------------|----------|----------|
| Vuosikustannukset, €/a | 8 097 € | 8 896 € |
| Vuosisäästö, €/a | 8 515 € | 7 716 € |
| Koroton takaisinmaksuaika, vuotta | 7 | 7 |
| Korollinen takaisinmaksuaika, vuotta | 9 | 10 |
| Nykyarvojen erotus, € | 26 303 € | 18 544 € |
| Sisäinen korko, % | 13 % | 11 % |

5.3 Kuivauksen hiilidioksidipäästöt

Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön siirtymisestä saavutettuja hiilidioksidipäästöjen mahdollista vähentymistä vertailtiin kevyen polttoöljyn päästöihin lyhyen ja pitkän ajan vaikutuksilla. Pitkän aikavälin tarkastelussa biopolttoaineiden katsottiin olevan hiilidioksidineutraaleita energianlähteitä. Kuivaukseen käytetyn energian kokonaismäärä eri polttoaineille saatiin polttoaineista tarvittavasta energiasta vertailtavilla laitteistokokonaisuuksilla ja ne ovat nähtävissä taulukosta 12.

Taulukko 12. Polttoaineiden päästökertoimet tuotettua energiaa kohden (Tilastokeskus 2020b).

| Polttoaine | Kuivaukseen kuluva energia, MWh | CO ₂ -päästökerroin, kg CO ₂ /MWh |
|------------------|---------------------------------|---|
| Kevyt polttoöljy | 155 | 263 |
| Biometaani (CBG) | 146 | 197 |
| Hake | 155 | 403 |
| Tähde + kaura | 146 | 360 |
| Kaura | 146 | 360 |
| Pelletti | 146 | 403 |
| Nestekaasu | 131 | 234 |

Verrattaessa vaihtoehtoisten polttoaineiden lyhyen ajan vaikutuksia kevyen polttoöljyn päästöihin huomattiin taulukossa 13, että pääosan biopolttoaineista päästöt olivat suurempia kuin kevyellä polttoöljyllä lyhyen ajan vaikutusten tarkastelun näkökulmasta.

Biopolttoaineista vain biometaanin käytöllä oli päästöjä vähentäviä vaikutuksia. Biometaanin käyttö toisi 30 % pienemmät hiilidioksidipäästöt polttoöljyyn verrattuna. Vaikka nestekaasu onkin fossiilinen polttoaine, sen käytöllä saavutettaisiin silti 25 % pienemmät hiilidioksidipäästöt kuin polttoöljyllä.

Taulukko 13. Polttoaineiden lyhyen ajan vaikutukset CO₂-päästöihin.

| Polttoaine | Lyhyen ajan CO ₂ -päästöt, kg CO ₂ | Lyhyen ajan vaikutukset CO ₂ -päästöihin, kg CO ₂ | Lyhyen ajan vaikutukset CO ₂ -päästöihin, % |
|------------------|--|---|--|
| Kevyt polttoöljy | 40 833 | - | - |
| Biometaani (CBG) | 28 705 | -12 128 | -30 % |
| Hake | 62 563 | 21 729 | 53 % |
| Tähde + kaura | 52 574 | 11 740 | 29 % |
| Kaura | 52 574 | 11 740 | 29 % |
| Pelletti | 58 882 | 18 049 | 44 % |
| Nestekaasu | 30 529 | -10 305 | -25 % |

Pitkän ajan vaikutusten tarkastelussa, jossa biopolttoaineiden oletettiin olevan hiilineutraaleja, havaittiin taulukossa 14 päästöjen olevan biopolttoaineiden osalta noin 41 tonnia pienemmät ja nestekaasun päästöjen olevan noin 10 tonnia pienemmät kuin kevyen polttoöljyn käytössä.

Taulukko 14. Polttoaineiden pitkän ajan vaikutukset CO₂-päästöihin.

| Polttoaine | Pitkän ajan CO ₂ -päästöt, kg CO ₂ | Pitkän ajan vaikutukset CO ₂ -päästöihin, kg CO ₂ | Pitkän ajan vaikutukset CO ₂ -päästöihin, % |
|------------------|--|---|--|
| Kevyt polttoöljy | 40 833 | - | - |
| Biometaani (CBG) | 0 | -40 833 | -100 % |
| Hake | 0 | -40 833 | -100 % |
| Tähde + kaura | 0 | -40 833 | -100 % |
| Kaura | 0 | -40 833 | -100 % |
| Pelletti | 0 | -40 833 | -100 % |
| Nestekaasu | 30 529 | -10 305 | -25 % |

Havainnollisina vertailuarvoina CO₂-päästöille voidaan käyttää Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien ylläpitämän sivuston tilastoja, joiden mukaan vuonna 2019 pohjoiskarjalaisten liikennekäytössä olevissa henkilöautoissa CO₂-päästöt olivat keskimäärin 164,8 g/km (Liikenne fakta.fi 2020) ja Suomen v. 2018 kuorma-auto liikenteessä 1 034,3 g/km (Liikenne fakta.fi 2019).

Verrattaessa taulukon 14 pitkän ajan CO₂ vaikutuksia tieliikenteen keskimääräisiin CO₂ -päästöihin saadaan tulokseksi, että biopolttoaineiden pienemmät päästöt suhteessa kevyeen polttoöljyyn vastaavat henkilöautolla ajettuina kilometreinä noin 247 800 km tai kuorma-autolla noin 39 500 km. Nestekaasun pienemmät päästöt kevyeen polttoöljyyn verrattuna vastaavat henkilöautolla ajettuina kilometreinä noin 62 500 km tai kuorma-autolla noin 10 000 km.

6 Pohdinta

6.1 Tulosten arviointi ja hyödynnettävyys

Tässä tutkimuksessa tehtyjen laskelmien ja vertailujen mukaan laitteistokokonaisuuksista ja käytettävistä polttoaineista toimeksiantajan nykyiseen käyttöön vastaa parhaiten vaihtoehto 4 kaura, jolla saavutettiin toimeksiantajan asettamat tavoitteet. Kauralla toimivan laitteiston korolliseksi takaisinmaksuajaksi asetetuilla arvoilla muodostui 10 vuotta, korottomaksi 7 vuotta ja sisäiseksi korkokannaksi muodostui 11 %.

Laitteistoa 4 puoltaa myös se, että polttoainesiilona voitaisiin käyttää mahdollisesti vanhaa rehusiiloa, jolloin hankintakustannuksia saataisiin supistettua. Laskennallisesti vuosina, jolloin kuivaukseen kuluu keskimääräistä enemmän energiaa, voitaisiin polttoaineena käyttää taloudellisesti myös pellettiä.

Toiseksi vartenotettavaksi vaihtoehdoksi nousi laskelmissa laitteiston 4 käyttäminen seospolttoaineella. Seospolttoaineen käytössä kyseisellä laitteistolla tulee kuitenkin huomioida seoksen tasalaatuisuus, polttoainejakeiden mahdollinen jaottuminen ja seoksen holvaantumisriski. Mikäli seospolttoaineen käyttö onnistuisi kyseisellä laitteistolla, saataisiin lajittelusta syntyvän tähteen hävittämisestä koituvia kustannuksia leikattua.

Tutkimustulokset osoittavat, että biopolttoaineella voidaan korvata kannattavasti kevyen polttoöljyn käyttöä, mikäli hyödynnettävissä on toiminnasta syntyviä sivuvirtoja, joita voidaan käyttää polttoaineena, kuten myyntikelvotonta viljaa tai lajiteltutähteitä. Laskelmissa uusiutuvaa energiaa käyttäville laitteistoille oletettiin saatavan energiantuotantotukea, joka pienensi huomattavasti investoinnin hintaa. Mikäli investoinnille ei myönnetä tukea, nousee investoinnin hinta niin korkeaksi, ettei se ole enää läheskään kannattava vaihtoehto kevyen polttoöljyyn verrattuna.

Kauran tai seospolttoaineen käytöstä on hyötyä myös hiilidioksidipäästöjen näkökulmasta, sillä kummallakaan polttoaineella ei ole juurikaan kuljetuksen tarvetta. Kyseisten polttoaineiden valmistuksen päästöjen voidaan katsoa olevan hyvällä syyllä nolla, mikäli poltettava kaura on muuten hyödyntämiskelvotonta.

Paineistetun biokaasun käyttäminen kuivauksen energialähteenä osoittautui laskelmien mukaan täysin kannattamattomaksi korkeiden vuosikustannusten takia. Korkeiden vuosikustannusten takana ovat korkeat kuljetuskustannukset ja laitteistojen hinta. Investointi toisi mukanaan myös lisäkustannuksia, joita laskelmissa ei huomioitu, kuten laitteiston käytönvalvonnan ulkoistaminen.

Nestekaasukäyttöiseen laitteistoon investoiminen ei laskelmien mukaan ole kannattavaa kyseisessä kohteessa sen korkeiden vuosikustannusten takia. Kannattavuuden näkökulmasta vain kevyen polttoöljyn hinnan huomattava nousu tekisi investoinnista kannattavaa, mutta nousu kohdistuisi todennäköisesti siinä tapauksessa yhtä lailla myös nestekaasun hintaan.

Työstä saadut tulokset ovat linjassa luvussa 2.3 mainittujen aikaisempien tutkimusten kanssa siitä, että polttoöljyn käyttöä on vaikea haastaa taloudellisista näkökulmista, mikäli käytössä ei ole toimeksiantajan tilalla hyödynnettävän kaltaista sivuvirtana syntyvää polttoainetta. Kilpeläisen laatimassa tutkimuksessa yhdeksi biopolttoaineiden kannattavuusrajaksi noussut 1 000 t/a osoittautui myös paikansapitäväksi, sillä pellettijärjestelmän kannattavaksi saaminen ei ole kuin pienistä muutoksista kiinni tämän tutkimuksen kohdetilalla.

Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella-oppaassa havainto siitä, että radiaattoriratkaisu on kannattavin tiloille, jossa kuivausteho kohtaa kiinteistöjen lämmitystehon kanssa, oli hyvin osoitettavissa tässä työssä jo karkeiden laskelmien perusteella. Vastavuoroisesti taas kuivuriuunin hyödyntäminen kuivauskauden ulkopuolella muuhun käyttöön, kuten kiinteistöjen lämmitykseen, olisi ilmeisen haastavaa kuivuriuunin suuren tehon takia. Tutkimuksen aikana esiin nousseiden hintatietojen ja LNG:n ja LBG:n varastointiin liittyvien rajoitteiden takia on ymmärrettävää, ettei kyseisiä polttoaineita käytetä kohdekokoluokan lämmöntuotannossa.

6.2 Tulosten luotettavuus

Tutkimuksessa käytetyt hinnat ovat suuruusluokkahintoja, joten laskentaan sisältyy aina pieni epävarmuustekijä. Investointien kannattavuuksien erot olivat kuitenkin monelta osin selkeitä, joten hintojen tarkentaminen ei todennäköisesti toisi merkittävää muutosta kannattavuuksiin vertailulaitteistoon nähden. Tutkimustulosten selkeällä perustelemisella pyrittiin antamaan toimeksiantajalle kuva siitä mikä on taloudellisesti kannattavin laiteratkaisu.

Paineistetun biokaasun käytöstä viljankuivaukseen ei ole aikaisempaa tietoa, tästä syystä laskelmissa käytettyjen laitteistojen ja polttoaineiden hinnat ovat suuntaa antavia. Kustannuslaskentaan ei myöskään sisältynyt siirtokonttien ympärille tarvittavien suojarakenteiden kustannuksia, joten investoinnin kokonaiskustannus on siltä osin epätarkka. On myös huomioitava, että vakuutukset eivät ole todellisuudessa samansuuruiset erityyppisillä uuneilla. Jokaisen kuivurikokonaisuuden vakuutuksen hinta määräytyy tapauskohtaisesti.

6.3 Jatkotutkimukset

Opinnäytetyöstä saatavaa tutkimustietoa laitteistojen kannattavuudesta voidaan hyödyntää mahdollisesti muilla saman kokoluokan siementiloilla, joissa laitteiston uusinta on ajankohtaista. Jatkotarkastelua vaatisi tutkimuksen aikana esiinnousut seikka siitä, kuinka nestekaasun käyttö suorakaasupolttimella vaikuttaa kuivausaikaan, sillä yhden propanolikilon polttaminen synnyttää 1,6 kg H₂O?

Tutkimuksen vaihtoehdossa 2 CBG:tä käytettiin kaasupolttimen ja alipaineuunin yhdistelmällä, mutta kyseisen kaasun hyödyntäminen suorakaasupoltossa hygienian näkökohdasta jäi avoimeksi Ruokaviraston Siemenyksikköön esitetyistä tiedusteluista huolimatta, joten selvityksen loppuun saattamisessa olisi vielä työtä, mikäli kyseisen polttoaineen käyttö tulisi muuten kannattavaksi käyttää.

Mikäli toimeksiantaja päätyy kaurakäyttöiseen kuivuriuuniratkaisuun, olisi mielenkiintoista tutkia eri lähteissä esiinnousseita viljanpolton päästöjä ja kalkin käytönhyötyjä poltossa syntyvien rikki­päästöjen pienentäjänä sekä laavaantumisen ehkäisijänä.

Lähteet

- Ahokas, J. & Jokiniemi, T. 2020. Viljankuivaus. Energia Akatemia. http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Viljan-kuivaus_netti.pdf. 4.2.2020.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luhtala, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>. 27.3.2020.
- Arskametalli Oy. 2020. Lämmönlähteet. https://www.arskametalli.fi/files/Esite2020_%C3%A4mm%C3%B6n%C3%A4hteet_FI.pdf. 27.4.2020.
- Biofire Oy. 2018. Kiinteän biopolttoaineen lämpökeskusjärjestelmät ja lämpökeskukset. <https://drive.google.com/file/d/0Bx5tjWcuBQ92MjRwNW9wMmtTbGc/view> 13.5.2020.
- Biofire Oy. 2020. Valmistajan kotisivut, polttimet. <https://www.biofire.fi/polttin>. 27.4.2020.
- Bioenergianeuvoja. 2020. Vilja. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/peltobiomassat/vilja/>. 26.3.2020.
- Fingas Oy. 2020. Valmistajan kotisivut, nestekaasuhöyrystimet. <https://www.fingas.fi/tuotteet/hoyrystimet-ja-hoyrystinkeskukset/nestekaasuhoyrystimet/>. 18.5.2020.
- Forest.fi. 2020. Mikä on LULUCF? 27.3.2020. <https://forest.fi/fi/faq/mika-on-lulucf/>. 8.5.2020.
- HSA Oy. 2020. Valmistajan kotisivut, merikontit. <https://hsaoy.com/product/ss-m/>. 17.5.2020.
- Ilmasto-opas. 2020. Hiilidioksidi. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>. 8.5.2020.
- Kilpeläinen, J. 2020a. Viljan kuivauksen teoriaa. ProAgria Keskusten Liitto ry. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/kilpelainen_viljankuivauksen_teoraa.pdf. 3.2.2020.
- Kilpeläinen, J. 2020b. Case: Suhmuran maamiesseuran viljankuivaamo. ProAgria Keskusten Liitto ry. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/kilpelainen_case_suhmuran_kuivaamo.pdf. 10.2.2020.
- Koskiniemi, E., Ala-Talkkari, H., Esala, J., Heikkilä, P., Huvinen, M., Koivisto, M., Kuronen, K., Piipari, P., Rintamaa, J., Törmä, J. & Viirimäki, J. 2009. Viljankuivaus kotimaisella polttoaineella -opas. Kehittyvä Metsäenergia-hanke. <http://www.puulakeus.net/docs/109-Ne6-viljan-kuivausopas.pdf>. 3.2.2020.
- Kouki, J. & Teräväinen, H. 2005. Viljan energiakäyttö. Teoksessa: Palva, R., Kirkkari, A.-M. & Teräväinen, H. (toim.) Viljasadon käsittely ja käyttö. Tieto tuottamaan. 108. Vantaa: ProAgria Maaseutukeskuksen liitto.
- Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen, Hämeen ammattikorkeakoulu. Suomen Biokaasuyhdistys ry.

- Kysy ilmastosta. 2019. Miten maakaasun päästöt vertautuvat muihin fossiilisiin energialähteisiin? 21.11.2018. Paatero, J. 18.6.2019. <https://kysymykset.kysyilmastosta.fi/t/miten-maakaasun-paastot-vertautuvat-muihin-fossiilisiin-energalähteisiin/122/3>. 8.5.2020.
- Liikennefakta.fi. 2019. Paketti- ja kuorma-autojen päästöt ja kulutus. https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/paketti-ja_kuorma-autot/paastot_ja_kulutus. 13.5.2020.
- Liikennefakta.fi. 2020. Hiilidioksidipäästöt. <https://www.liikennefakta.fi/ymparisto/henkilöautot/hiilidioksidipaastot>. 13.5.2020.
- Lämmitysenergia yhdistys. 2020. Kattilat ja polttimet. <https://www.ley.fi/tietoa-lammityksesta/kattilat-ja-polttimet/>. 5.5.2020.
- Lötjönen, T. 2005a. Kylmäilmakuivaus. Teoksessa: Palva, R., Kirkkari, A.-M. & Teräväinen, H. (toim.) Viljasadon käsittely ja käyttö. Tieto tuottamaan. 108. Vantaa: ProAgria Maaseutokeskuksen liitto.
- Lötjönen, T. 2005b. Eräkuivurit. Teoksessa: Palva, R., Kirkkari, A.-M. & Teräväinen, H. (toim.) Viljasadon käsittely ja käyttö. Tieto tuottamaan. 108. Vantaa: ProAgria Maaseutokeskuksen liitto.
- Maanmittauslaitos. 2020. Karttapaikka. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>. 28.4.2020.
- Mepu. 2017. Kuivuriuunit, käyttöohje. https://www.mepu.fi/files/4114/9855/7137/D03635_FI2017A_Kuivuriuunien_kayttoohje_web.pdf. 27.4.2020.
- Mepu. 2020. Lämmönlähteet. https://www.mepu.fi/files/6115/6638/3888/Mepu_esite2019A5_lammonlahteet.pdf. 7.2.2020.
- Pohjois-Karjalan Siemen Oy. 2013. Yrityksen kotisivut. <http://www.pksiem.fi/yritys/>. 19.5.2020.
- Rantapirkola, T. 2020. Kuivuripaiva-oamk-Rantapirkola. <https://virtaaluonnosta.files.wordpress.com/2017/01/kuivuripc3a4iva-oamk-rantapirkola.pdf>. 23.5.2020.
- Ruokavirasto. 2020. Maatalouden investointituet. <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/maatalouden-investointituet/>. 12.5.2020.
- Saaranen, P., Koltola, E. & Pösö, J. 2016. Liike-elämän matematiikka. 11., uudistettu painos. Helsinki: Edita
- Suomilammi, A. 2018. Biokaasuliiketoiminta, maa- ja biokaasu liikennepolttoaineena, kuljetusten lisääntyminen. Gasum. <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/Onnettomuusharjoitus-kaasukuljetukset-Kuopio-ARSU-11.10.2018.pdf>. 17.5.2020.
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. 2020. Biokaasu. <https://biokierto.fi/biokaasu/>. 31.3.2020.
- Söderena, P., Suomalainen, M., Kajolinna, T. & Melin, K. 2019. Biometaanin välivarastointi ja varastointi ajoneuvossa: Tulevaisuuden mahdollisuudet. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti, Nro VTT-R-06978-18. https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/26400504/Biometaanin_v_livarastointi_ja_varastointi_ajoneuvossa_Tulevaisuuden_mahdollisuudet.pdf. 31.3.2020.
- Terävä-Helminen, V. 2013. Investointilaskenta ja päätöksenteko Opetusmoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://docplayer.fi/495691-Metropolia-ammattikorkeakoulu-investointilaskenta-ja-paatoksen-teko-opetusmoniste.html>. 8.4.2020.

- Tilastokeskus. 2020a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2018 EU:lle ja YK:n ilmastopöytäkirjalle 13.3.2020.
https://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2020-03-13_tie_001_fi.html. 8.5.2020.
- Tilastokeskus. 2020b. Polttoaineluokitus 2020. http://stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html. 8.5.2020.
- Tukes 2020a. Vastuuhenkilöt: hyvät käytännöt ja nimeäminen. <https://tukes.fi/teollisuus/vastuuhenkilot>. 11.5.2020.
- Tukes 2020b. Maakaasun varastointi. <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/maakaasun-varastointi>. 11.5.2020.
- Tukes 2020c. Maakaasuputkiston/-kohteen käytönvalvoja. <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/kaytonvalvoja>. 11.5.2020.
- Työterveyslaitos. 2015. OVA-ohje: Nestekaasut. <https://www.ttl.fi/ova/nestek.html>. 30.3.2020.
- Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 855/2012.
- Valtioneuvoston asetus painelaiteturvallisuudesta 1549/2016.
- Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. 1964. Koetusselostus 510. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/483428/kselostus510.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 19.3.2020.
- Viirimäki, J., Hassinen, U., Hiitelä, J., Kauppinen, V.-P., Koskiniemi, E., Moilanen, P., Somerpalo, J., Turkia, K. & Vanhala, T. 2008. Maatilan hakelämmitys-opas. Metsäkeskus. http://www.puulakeus.net/docs/109-TgY-Maatilan_hakelammitysopas_lopullinen.pdf. 10.2.2020.

Kiinteistöjen lämmitystehon määrittäminen

| | pinta-ala, m ² | huone korkeus, m | huone tilavuus, m ³ | Lämpötehon tarve, kW |
|---|---------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|
| <i>Asuinrakennus 1</i> | 200 | 2,6 | 520 | 13 |
| <i>Asuinrakennus 2</i> | 185 | 2,6 | 481 | 12 |
| <i>Toimistotilat</i> | 72 | 2,6 | 187,2 | 5 |
| <i>KSA Varasto</i> | 25 | 3 | 75 | 2 |
| <i>Punainen halli 1</i> | 160 | 4 | 640 | 13 |
| <i>Harmaa halli 2</i> | 160 | 4 | 640 | 12,8 |
| | 802 | | 2543,2 | 57 |
| <i>Tehontarve asuinrakennus</i> | 25 | W/r-m3 | | |
| <i>Tehontarve halli + varasto</i> | 20 | W/r-m3 | | |
| <i>Tehontarve lämpökanaali</i> | 20 | W/m | | |
| | | | | |
| <i>Kanaali</i> | 130 | e/m | | |
| <i>Kanaalin pituus</i> | 90 | m | | |
| <i>Lämpötehon tarve, kW</i> | 1,8 | kW | | |
| | | | | |
| | | | | |
| <i>Kanaalikustannus sis. maatyöt</i> | 11 700,00 € | | | |
| <i>Radiaattori + tykötärpeet</i> | 6 000,00 € | | | |
| <i>Yhteensä</i> | 17 700,00 € | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| <i>kattilan ja polttimen oletettu kW-hinta</i> | 83€/kW | | | |
| <i>100kW tehon pudotuksesta saatava investointihinnan alenema kattila + palopää</i> | 8 300,00 € | | | |
| <i>Kustannussäästö</i> | - 9 400,00 € | | | |